

57810-031
T.KUNISATO et al.
February 25, 2002
McDermott, Will & Emery

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2001年 2月27日

出 願 番 号
Application Number:

特願2001-052351

[ST.10/C]:

[JP2001-052351]

出 願 人
Applicant(s):

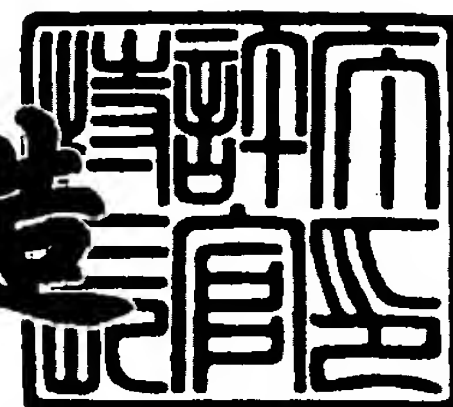
三洋電機株式会社



2002年 2月 5日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3004754

【書類名】 特許願

【整理番号】 NBA1011003

【提出日】 平成13年 2月27日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
 三洋電機株式会社内

 【氏名】 國里 竜也

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
 三洋電機株式会社内

 【氏名】 林 伸彦

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
 三洋電機株式会社内

 【氏名】 大保 広樹

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
 三洋電機株式会社内

 【氏名】 畑 雅幸

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
 三洋電機株式会社内

 【氏名】 山口 勤

【特許出願人】

 【識別番号】 000001889

 【氏名又は名称】 三洋電機株式会社

 【代表者】 桑野 幸徳

【代理人】

【識別番号】 100104433

【弁理士】

【氏名又は名称】 宮園 博一

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 073613

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0001887

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 窒化物系半導体素子および窒化物系半導体の形成方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 下地の上面に接触するとともに、前記下地の一部を露出するように、所定の間隔を隔てて形成された複数のマスク層と、

前記下地の上面上および前記マスク層上に形成され、前記下地とは異なる材料からなる窒化物系半導体層とを備え、

隣接する前記マスク層間の最短距離が、前記隣接するマスク層間に位置する前記下地の露出部の幅よりも小さい、窒化物系半導体素子。

【請求項 2】 前記下地は、基板を含み、

前記マスク層は、前記基板の上面に接触するように形成されている、請求項 1 に記載の窒化物系半導体素子。

【請求項 3】 前記隣接するマスク層間に位置する前記下地の露出された上面上に形成され、少なくとも 2 種類の異なる大きさを有するファセット部をさらに備える、請求項 1 または 2 に記載の窒化物系半導体素子。

【請求項 4】 前記窒化物系半導体層は、前記下地の上面上にバッファ層を介して形成されている、請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体素子。

【請求項 5】 前記窒化物系半導体層は、前記下地の上面上に接触するように形成されている、請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体素子。

【請求項 6】 前記マスク層は、前記下地の露出部の上方に突出したオーバーハング部を有する、請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体素子。

【請求項 7】 前記マスク層の少なくとも一部は、逆台形形状を有する、請求項 6 に記載の窒化物系半導体素子。

【請求項 8】 前記窒化物系半導体層上に形成され、素子領域を有する窒化物系半導体素子層をさらに備える、請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体素子。

【請求項 9】 下地の上面に接触するとともに、前記下地の一部を露出する

ように、所定の間隔を隔てて複数のマスク層を形成する工程と、

前記下地の上面上および前記マスク層上に、前記下地とは異なる材料からなる窒化物系半導体層を成長させる工程とを備え、

隣接する前記マスク層間の最短距離が、前記隣接するマスク層間に位置する前記下地の露出部の幅よりも小さい、窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 1 0】 前記窒化物系半導体層を成長させる工程は、

前記下地の上面上にバッファ層を介して前記窒化物系半導体層を成長させる工程を含む、請求項 9 に記載の窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 1 1】 前記窒化物系半導体層を成長させる工程は、

前記下地の上面上に接触するように窒化物系半導体層を成長させる工程を含む、請求項 9 に記載の窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 1 2】 前記マスク層は、前記下地の露出部の上方に突出したオーバーハング部を有する、請求項 9 ～ 1 1 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 1 3】 前記マスク層の少なくとも一部は、逆台形形状を有する、請求項 1 2 に記載の窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 1 4】 前記窒化物系半導体層上に、素子領域を有する窒化物系半導体素子層を成長させる工程をさらに備える、請求項 9 ～ 1 3 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 1 5】 下地の上面に接触するとともに、前記下地の一部を露出するように、所定の間隔を隔てて複数のマスク層を形成する工程と、

前記隣接するマスク層間に位置する前記下地の露出された上面に、成長速度差を有するように、前記下地とは異なる材料からなる窒化物系半導体層を成長させる工程とを備えた、窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 1 6】 前記窒化物系半導体層を成長させる工程は、

前記隣接するマスク層間に位置する前記下地の露出された上面に、少なくとも 2 種類の異なる大きさを有するファセット部を成長させることによって、前記窒化物系半導体層を成長させる工程を含む、請求項 1 5 に記載の窒化物系半導体の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、窒化物系半導体素子および窒化物系半導体の形成方法に関し、特に、下地上に下地とは異なる材料からなる窒化物系半導体がヘテロ成長によって形成される窒化物系半導体素子および窒化物系半導体の形成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、下地上に下地とは異なる材料からなる窒化物系半導体をヘテロ成長させる技術が知られている。たとえば、窒化物系半導体の1つであるGaNの結晶成長では、格子整合する基板が少ないために、サファイア基板などの異種基板上にヘテロ成長を行っている。この場合、結晶欠陥の少ない結晶性の良好なGaNを成長させるために、従来、基板とGaN層との間に、低温成長によるバッファ層を挿入する技術が知られている。

【0003】

しかしながら、上記のような低温バッファ層を用いた場合であっても、低減できる欠陥の密度には限界があり、さらに転位を低減するのは困難である。そこで、従来、GaNを成長する際に、選択横方向成長(Epitaxial Lateral Overgrowth: ELOG)法によって転位を低減した下地層を用いる技術が提案されている。この選択横方向成長については、たとえば、応用電子物性分科会誌第4巻(1998)の第53頁～第58頁および第210頁～第215頁などに開示されている。

【0004】

図20～図23は、従来の選択横方向成長を用いた窒化物系半導体の形成方法の一例を説明するための断面図である。次に、図20～図23を参照して、従来の選択横方向成長を用いた窒化物系半導体の形成方法の一例について説明する。

【0005】

まず、図20に示すように、サファイア基板201上に低温バッファ層202を形成した後、その低温バッファ層202上に、下地となるGaN層203を成

長させる。

【0006】

次に、図21に示すように、Ga₂N層203上の所定領域に、SiO₂などからなるストライプ状（細長状）のマスク層204を形成する。マスク層204を選択成長マスクとして、Ga₂N層203を下地層として再成長を行うと、Ga₂N層203の露出部には、まず、断面が三角形のファセット構造を有するGa₂N層205が形成される。

【0007】

さらに、成長が進むと、ファセット構造のGa₂N層205が、図22に示すように、結合し、横方向成長が支配的になる。このため、c軸方向に延びていた転位はファセット結合部で曲げられて上部には到達しない。ただし、ファセット結合部上には転位が残る。

【0008】

さらに、成長が進むと、図23に示すように、ファセット構造の各Ga₂N層205が合体して連続膜となる。これにより、平坦な上面を有するGa₂N層205が形成される。この平坦化されたGa₂N層205の表面に到達する転位は、下地層に比べて大幅に減少されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

図20～図23に示した従来の窒化物系半導体層の形成方法では、選択横方向成長によってGa₂N層205を形成する場合、転位はファセットが結合するマスク層204の上部に集中的に残る。このため、転位を少なくするためには、マスク層204の幅は小さい方が好ましい。しかし、転位を少なくするためにマスク層204の幅を小さくすると、下地となるGa₂N層203の露出部分の幅が広くなるので、Ga₂N層203の露出部分上に形成されるGa₂Nからなるファセットも大きく（高く）なる。このため、その大きなファセットを結合して平坦化するためには、Ga₂N層205を厚く形成する必要があった。このように、従来では、薄い膜厚で転位の少ないGa₂N層205を得ることは困難であった。

【0010】

また、従来では、基板上に直接マスク層を形成して選択横方向成長を用いてGaN層を成長させる方法も提案されている。図24は、その従来の提案された窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。図24を参照して、この従来の提案された方法では、サファイア基板211上に直接SiO₂からなるマスク層212を形成した後、その上にGaNからなる低温バッファ層213および高温成長のGaN層214を形成することによって、1回の成長で転位を低減したGaN層214を形成する。この従来の提案された方法では、サファイア基板211上に直接マスク層212を形成するので、下地層がない分、全体の膜厚は薄くなる。

【0011】

しかし、図24に示した従来の提案された方法では、図20～図23に示した従来例と同様の問題が発生する。すなわち、サファイア基板211上に直接マスク層212を形成して選択横方向成長を行う場合においても、転位を少なくするためには、マスク層212の幅を小さくする必要がある。しかし、マスク層212の幅を小さくすると、サファイア基板211の露出面積が大きくなるので、その露出部分の低温バッファ層213上に形成されるGaNからなるファセットが大きく（高く）なる。このため、その大きなファセットを結合してGaN層214を平坦化させるためには、GaN層214を約5μm以上の大きな厚みで形成する必要があった。その結果、図24に示した従来の提案された方法においても、薄い膜厚で転位の少ないGaN層214を得るのは困難であった。

【0012】

また、従来では、AlGaN、InN、InGaN、BGaN、BA1GaN、BInGaN、AlInGaNなどの混晶を厚く成長させる場合には、格子整合する基板を求めることはより困難である。たとえば、サファイア基板上にInGaNを直接成長させる場合、格子定数の差が大きいために、InGaN層を厚く成長させることは困難である。このため、従来では、図25に示すように、まず、サファイア基板221上にバッファ層222を介してGaN層223を成長させる。そして、GaN層223上に、マスク層224を形成した後、そのマスク層224を成長マスクとして、選択横方向成長させることによって、低転位の

GaN層225を形成する。そして、その低転位のGaN層225上に、InGaN層226を成長させていた。このように、選択横方向成長を用いて形成した低転位のGaN層225上にInGaN層226を成長させることによって、低転位のInGaN層226をある程度厚く成長させることが可能となる。

【0013】

図25に示した従来の混晶からなる窒化物系半導体層の形成方法では、上記のように、転位の少ないInGaN層226を得るために、下地層として選択横方向成長を用いて低転位のGaN層225を形成する必要がある。このため、図25に示した従来例では、全体の厚みが大きくなり、その結果、全体として薄い膜厚で転位の少ないInGaN層226を得るのは困難であった。また、図25に示した従来の混晶からなる窒化物系半導体層の形成方法では、選択横方向成長を用いて形成したGaN層225を下地層として、さらにInGaN層226を成長させるので、工程が複雑になるという問題点もあった。

【0014】

この発明は上記のような課題を解決するためになされたものであり、

この発明の1つの目的は、下地上に下地とは異なる材料からなる窒化物系半導体がヘテロ成長によって形成される場合において、薄い膜厚で転位が少ない窒化物系半導体層を形成することが可能な構造を有する窒化物系半導体素子を提供することである。

【0015】

この発明のもう1つの目的は、下地上に下地とは異なる材料からなる窒化物系半導体がヘテロ成長によって形成される場合において、薄い膜厚で低転位の窒化物系半導体層を容易に成長させることが可能な窒化物系半導体の形成方法を提供することである。

【0016】

【課題を解決するための手段】

この発明の一の局面による窒化物系半導体素子は、下地の上面に接触するとともに、下地の一部を露出するように、所定の間隔を隔てて形成された複数のマスク層と、下地の上面上およびマスク層上に形成された窒化物系半導体層とを備え

ている。そして、隣接するマスク層間の最短距離が、隣接するマスク層間に位置する下地の露出部の幅よりも小さい。

【 0 0 1 7 】

この一の局面による窒化物系半導体素子では、上記のように、隣接するマスク層間の最短距離が、隣接するマスク層間に位置する下地の露出部の幅よりも小さくなるように構成することによって、マスク層をマスクとして下地上に下地とは異なる材料からなる窒化物系半導体層を成長させる場合に、下地の露出部のうち上方にマスク層が形成されている部分では、原料が届きにくくなる。これにより、下地の露出部のうち上方にマスク層が形成されている部分では、下地の露出部のうち上方にマスク層が形成されていない部分に形成されるファセット部よりも小さなファセット部が形成される。この小さなファセット部は、大きなファセット部よりも早く横方向に成長するため、通常よりも薄い膜厚で成長初期から横方向成長が促進されることになる。これにより、下地上に下地とは異なる材料からなる低転位の窒化物系半導体層を薄い膜厚でヘテロ成長させることができる。

【 0 0 1 8 】

この一の局面による窒化物系半導体素子において、好ましくは、下地は、基板を含み、マスク層は、基板の上面に接触するように形成されている。なお、本発明における基板には、基板自体のみが含まれ、基板上に層が形成されているものは含まれない。

【 0 0 1 9 】

また、上記一の局面による窒化物系半導体素子において、好ましくは、隣接するマスク層間に位置する下地の露出された上面上に形成され、少なくとも2種類の異なる大きさを有するファセット部をさらに備える。このように構成すれば、小さなファセット部は、大きなファセット部よりも早く横方向に成長するため、通常よりも薄い膜厚で成長初期から横方向成長が促進されることになる。これにより、下地上に下地とは異なる材料からなる低転位の窒化物系半導体層を薄い膜厚でヘテロ成長させることができる。

【 0 0 2 0 】

上記一の局面による窒化物系半導体素子において、好ましくは、窒化物系半導

体層は、下地の上面上にバッファ層を介して形成されている。このように構成すれば、下地上にバッファ層を介して薄い膜厚でより低転位の窒化物系半導体層を成長させることができる。また、バッファ層によって結晶成長が促進されるので、下地の露出部のうち上方にマスク層が形成されている部分のバッファ層上に、小さなファセット部をより多く形成することができる。これにより、横方向成長をより促進することができる。その結果、より薄い膜厚で低転位の窒化物系半導体層をヘテロ成長させることができる。

【 0 0 2 1 】

また、上記一の局面による窒化物系半導体素子において、好ましくは、窒化物系半導体層は、下地の上面上に接触するように形成されている。このように構成すれば、下地上に直接薄い膜厚で低転位の窒化物系半導体層をヘテロ成長させることができる。

【 0 0 2 2 】

また、上記の場合、好ましくは、マスク層は、下地の露出部の上方に突出したオーバーハング部を有する。このように構成すれば、オーバーハング部の下部に位置する下地の露出部では、原料が届きにくくなるので、オーバーハング部の下部に位置しない下地の露出部に形成されるファセット部よりも小さなファセット部を容易に形成することができる。この小さなファセット部は、大きなファセット部よりも早く横方向に成長するため、通常よりも薄い膜厚で成長初期から横方向成長が促進されることになる。これにより、下地上に下地とは異なる材料からなる低転位の窒化物系半導体層を薄い膜厚でヘテロ成長させることができる。この場合、好ましくは、マスク層の少なくとも一部は、逆台形形状を有する。

【 0 0 2 3 】

また、上記の場合、好ましくは、窒化物系半導体層上に形成され、素子領域を有する窒化物系半導体素子層をさらに備える。このように構成すれば、下地上に薄い膜厚で形成された低転位の窒化物系半導体層上に、素子領域を有する窒化物系半導体素子層を成長させることができるので、良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子層を得ることができる。その結果、厚みが薄く、かつ、良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を得ることができる。

【 0 0 2 4 】

この発明の他の局面による窒化物系半導体の形成方法は、下地の上面に接触するとともに、下地の一部を露出するように、所定の間隔を隔てて複数のマスク層を形成する工程と、下地の上面上およびマスク層上に、窒化物系半導体層を成長させる工程とを備えている。そして、隣接するマスク層間の最短距離が、隣接するマスク層間に位置する下地の露出部の幅よりも小さい。

【 0 0 2 5 】

この他の局面による窒化物系半導体の形成方法では、上記のように、隣接するマスク層間の最短距離が、隣接するマスク層間に位置する下地の露出部の幅よりも小さくなるように構成することによって、マスク層をマスクとして下地上に窒化物系半導体層を成長させる場合に、下地の露出部のうち上方にマスク層が形成されている部分では、原料が届きにくくなる。これにより、下地の露出部のうち上方にマスク層が形成されている部分では、下地の露出部のうち上方にマスク層が形成されていない部分に形成されるファセット部よりも小さなファセット部が形成される。この小さなファセット部は、大きなファセット部よりも早く横方向に成長するため、通常よりも薄い膜厚で成長初期から横方向成長が促進されることになる。これにより、下地上に下地とは異なる材料からなる低転位の窒化物系半導体層を薄い膜厚でヘテロ成長させることができる。

【 0 0 2 6 】

上記他の局面による窒化物系半導体の形成方法において、好ましくは、窒化物系半導体層を成長させる工程は、下地の上面上にバッファ層を介して窒化物系半導体層を成長させる工程を含む。このように構成すれば、下地上にバッファ層を介して薄い膜厚でより低転位の窒化物系半導体層を成長させることができる。また、バッファ層によって結晶成長が促進されるので、下地の露出部のうち上方にマスク層が形成されている部分に、小さなファセット部をより多く形成することができる。これにより、横方向成長をより促進することができる。その結果、より薄い膜厚で低転位の窒化物系半導体層をヘテロ成長させることができる。

【 0 0 2 7 】

上記他の局面による窒化物系半導体の形成方法において、好ましくは、窒化物

系半導体層を成長させる工程は、下地の上面上に接触するように窒化物系半導体層を成長させる工程を含む。このように構成すれば、下地上に直接薄い膜厚で低転位の窒化物系半導体層をヘテロ成長させることができる。

【 0 0 2 8 】

また、上記の場合、好ましくは、マスク層は、下地の露出部の上方に突出したオーバーハング部を有する。このように構成すれば、オーバーハング部の下部に位置する下地の露出部では、原料が届きにくくなる。これにより、オーバーハング部の下部に位置する下地の露出部では、オーバーハング部の下部に位置しない下地の露出部に形成されるファセット部よりも小さなファセット部を容易に形成することができる。この小さなファセット部は、大きなファセット部よりも早く横方向に成長するため、通常よりも薄い膜厚で成長初期から横方向成長が促進されることになる。これにより、下地上に下地とは異なる材料からなる低転位の窒化物系半導体層を薄い膜厚で成長させることができる。この場合、好ましくは、マスク層の少なくとも一部は、逆台形形状を有する。

【 0 0 2 9 】

また、上記の場合、好ましくは、窒化物系半導体層上に、素子領域を有する窒化物系半導体素子層を成長させる工程をさらに備える。このように構成すれば、下地上に薄い膜厚で形成された低転位の窒化物系半導体層上に、素子領域を有する窒化物系半導体素子層を成長させることができるので、良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子層を容易に形成することができる。その結果、厚みが薄く、かつ、良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を得ることができる。

【 0 0 3 0 】

この発明のさらに他の局面による窒化物系半導体の形成方法は、下地の上面に接触するとともに、下地の一部を露出するように、所定の間隔を隔てて複数のマスク層を形成する工程と、隣接するマスク層間に位置する下地の露出された上面に、成長速度差を有するように、窒化物系半導体層を成長させる工程とを備えた、窒化物系半導体の形成方法。

【 0 0 3 1 】

このさらに他の局面による窒化物系半導体の形成方法では、隣接するマスク層

間に位置する下地の露出された上面に、成長速度差を有するように、窒化物系半導体層を成長させることによって、成長速度の遅い部分には、小さなファセット部が形成される。この小さなファセット部は、大きなファセット部よりも早く横方向に成長するため、通常よりも薄い膜厚で成長初期から横方向成長が促進されることになる。これにより、下地上に下地とは異なる材料からなる低転位の窒化物系半導体層を薄い膜厚でヘテロ成長させることができる。

【 0 0 3 2 】

上記さらに他の局面による窒化物系半導体の形成方法において、窒化物系半導体層を成長させる工程は、隣接するマスク層間に位置する下地の露出された上面に、少なくとも2種類の異なる大きさを有するファセット部を成長させることによって、窒化物系半導体層を成長させる工程を含む。このように構成すれば、小さなファセット部は、大きなファセット部よりも早く横方向に成長するため、通常よりも薄い膜厚で成長初期から横方向成長が促進されることになる。これにより、下地上に下地とは異なる材料からなる低転位の窒化物系半導体層を薄い膜厚で成長させることができる。

【 0 0 3 3 】

【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態を説明する前に、まず、本発明の概念について説明する。図1～図3は、本発明の概念を説明するための断面図である。図1～図3を参照して、以下に、本発明の概念について説明する。

【 0 0 3 4 】

まず、本発明では、図1に示すように、下地基板または基板上に形成された下地層からなる下地1上に、オーバーハング部2aを有する逆台形形状のマスク層2を形成する。このマスク層2では、隣接するマスク層2間の最短距離が、隣接するマスク層2間に位置する下地1の露出部の幅よりも小さい。このようなマスク層2を選択成長マスクとして、下地1上に窒化物系半導体層3を選択横方向成長させる。この場合、下地1の露出部のうち、オーバーハング部2a下に位置する領域と、オーバーハング部2a下に位置しない領域とで、原料供給量に差ができる。すなわち、オーバーハング部2aの下では原料が到達しにくくなるので、

小さなファセット 3 b が形成される。これに対して、オーバーハング部 2 a の下に位置しない下地 1 の露出部中央では、原料供給量が多いために、c 軸方向の成長が早く進むので、大きなファセット 3 a が形成される。

【 0 0 3 5 】

なお、図 1 では、簡略化のため、1 つのオーバーハング部 2 a 下に、1 つの小さなファセット 3 b を示しているが、実際には、1 つのオーバーハング部 2 a 下に、複数の小さなファセット 3 b が形成されている。この 1 つのオーバーハング部 2 a 下に形成される複数の小さなファセット 3 b は、下地 1 の露出部中央に近づくに従って、徐々に大きさが大きくなる（図示せず）。

【 0 0 3 6 】

図 1 に示した状態から、さらに成長させると、小さなファセット 3 b は、大きなファセット 3 a よりも早く横方向に成長するため、通常よりも薄い膜厚で成長初期の段階から横方向成長が促進される。このように、小さなファセット 3 b は、早い段階で横方向成長が支配的になり、図 2 に示すように、大きなファセット 3 a と接触して転位を曲げる。大きなファセット 3 a も接触された部位から転位が曲がり始めて、横方向成長が促進される。

【 0 0 3 7 】

このように、本発明では、非常に薄い膜厚の部分から横方向成長が支配的になり、その結果、図 3 に示すように、薄い膜厚で窒化物系半導体層 3 が平坦化されるとともに、下地 1 近辺ですでに転位が低減されている。これにより、下地 1 上に下地 1 とは異なる材料からなる低転位の窒化物系半導体層 3 を薄い膜厚でヘテロ成長させることができる。

【 0 0 3 8 】

次に、上記した本発明の概念を具体化した実施形態について説明する。

【 0 0 3 9 】

（第 1 実施形態）

図 4 は、本発明の第 1 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。図 5 は、図 4 に示した第 1 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【 0 0 4 0 】

まず、図 4 を参照して、第 1 実施形態の窒化物系半導体の形成方法について説明する。この第 1 実施形態では、まず、下地としてのサファイア基板 1 1 の上面上に直接、S i N からなるマスク層 1 2 を形成する。このマスク層 1 2 は、オーバーハング部 1 2 a を有する逆メサ形状（逆台形形状）に形成する。このマスク層 1 2 では、隣接するマスク層 1 2 間の最短距離が、隣接するマスク層 1 2 間に位置するサファイア基板 1 1 の露出部の幅よりも小さい。

【 0 0 4 1 】

このようなマスク層 1 2 の形成方法としては、まず、サファイア基板 1 1 上の全面に S i N 層（図示せず）を形成した後、その S i N 層上の所定領域にレジスト（図示せず）を形成する。そして、そのレジストをマスクとして、S i N 層をウェットエッチングすることによって、容易にオーバーハング部 1 2 a を有する逆台形形状のマスク層 1 2 を形成することができる。なお、このマスク層 1 2 は、約 $7\ \mu\text{m}$ の周期を有するストライプ状（細長状）で、約 $10\ \text{nm}$ ～ 約 $1000\ \text{nm}$ の厚みで形成する。また、マスク 1 2 の開口部は、たとえば、サファイアの $[11-20]$ 方向またはサファイアの $[1-100]$ 方向に形成するのが好ましい。

【 0 0 4 2 】

この後、サファイア基板 1 1 上に、約 500°C ～ 約 700°C の温度条件下で、約 $10\ \text{nm}$ ～ 約 $50\ \text{nm}$ の厚みを有する A l G a N または G a N からなる低温バッファ層 1 3 を成長させる。そして、MOCVD 法または HVPE 法を用いて、マスク層 1 2 を選択成長マスクとして、低温バッファ層 1 3 上に、アンドープ G a N 層 1 4 を形成する。このアンドープ G a N 層 1 4 は、約 950°C ～ 約 1200°C の温度条件下で、約 $2\ \mu\text{m}$ の厚みを有するように形成する。なお、このアンドープ G a N 層 1 4 は、本発明の「窒化物系半導体層」の一例である。

【 0 0 4 3 】

このアンドープ G a N 層 1 4 を選択横方向成長させる際にも、マスク層 1 2 がオーバーハング部 1 2 a を有するので、図 1 に示した概念図と同様、オーバーハング部 1 2 a 下に小さなファセットが形成される。これにより、成長初期の段階

から横方向成長が支配的になるので、サファイア基板 1 1 上に、薄い膜厚で転位の低減されたアンドープ GaN 層 1 4 をヘテロ成長させることができる。

【 0 0 4 4 】

また、サファイア基板 1 1 とアンドープ GaN 層 1 4 との間に低温バッファ層 1 3 を形成することによって、アンドープ GaN 層 1 4 の結晶成長がさらに促進されるので、オーバーハング部 1 2 a 下の低温バッファ層 1 3 上に小さなファセット部をより多く形成することができる。これにより、横方向成長をより促進させることができるので、サファイア基板 1 1 上に、より薄い膜厚で低転位のアンドープ GaN 層 1 4 をヘテロ成長させることができる。

【 0 0 4 5 】

次に、図 5 を参照して、第 1 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子の構造について説明する。

【 0 0 4 6 】

第 1 実施形態の半導体レーザ素子では、図 4 に示したアンドープ GaN 層 1 4 上に、図 5 に示すように、約 $4\ \mu\text{m}$ の厚みを有する n 型 GaN からなる第 1 導電型コンタクト層 1 0 5 が形成されている。第 1 導電型コンタクト層 1 0 5 上には、約 $0.45\ \mu\text{m}$ の膜厚を有する n 型 Al GaN からなる第 1 導電型クラッド層 1 0 6 が形成されている。第 1 導電型クラッド層 1 0 6 上には、In GaN からなる多重量子井戸 (MQW) 発光層 1 0 7 が形成されている。MQW 発光層 1 0 7 上には、約 $0.45\ \mu\text{m}$ の厚みを有する p 型 Al GaN からなる第 2 導電型クラッド層 1 0 8 が形成されている。その第 2 導電型クラッド層 1 0 8 上には、約 $0.15\ \mu\text{m}$ の膜厚を有する p 型 GaN からなる第 2 導電型コンタクト層 1 0 9 が形成されている。また、第 1 導電型コンタクト層 1 0 5 の露出された上面上には、n 型の第 1 導電型電極 1 1 0 が形成されている。また、第 2 導電型コンタクト層 1 0 9 の上面上には、p 型の第 2 導電型電極 1 1 1 が形成されている。

【 0 0 4 7 】

なお、第 1 導電型コンタクト層 1 0 5、第 1 導電型クラッド層 1 0 6、MQW 発光層 1 0 7、第 2 導電型クラッド層 1 0 8 および第 2 導電型コンタクト層 1 0 9 は、本発明の「窒化物系半導体素子層」の一例である。

【 0 0 4 8 】

上記した第 1 実施形態の半導体レーザ素子では、図 4 に示した形成方法を用いて形成された薄い厚みで転位が低減されたアンドープ GaN 層 1 4 上に、各層 1 0 5 ~ 1 0 9 を形成するので、各層 1 0 5 ~ 1 0 9 において、良好な結晶性を実現することができる。したがって、第 1 実施形態では、厚みが薄く、かつ、良好な素子特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

【 0 0 4 9 】

(第 2 実施形態)

図 6 は、本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。図 7 は、図 6 に示した第 2 実施形態の窒化物系半導体層の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【 0 0 5 0 】

まず、図 6 を参照して、この第 2 実施形態の窒化物系半導体の形成方法について説明する。この第 2 実施形態では、下地としての n 型 SiC 基板 2 1 の表面上に、マスク層 2 2 を形成する。このマスク層 2 2 は、SiN 層 2 2 a と、SiO₂ 層 2 2 b と、SiN 層 2 2 c とからなる 3 層構造を有するとともに、約 1 0 n m ~ 約 1 0 0 0 n m の厚みを有する。また、マスク層 2 2 は、中間層の SiO₂ 膜 2 2 b が両側方に突出した形状（オーバーハング形状）を有する。このマスク層 2 2 では、隣接するマスク層 2 2（SiO₂ 層 2 2 b）間の最短距離が、隣接するマスク層 2 2 間に位置する n 型 SiC 基板 2 1 の露出部の幅よりも小さい。

【 0 0 5 1 】

このようなマスク層 2 2 の形成方法としては、n 型 SiC 基板 2 1 上に、SiN 層 2 2 a、SiO₂ 層 2 2 b および SiN 層 2 2 c を順次形成した後、SiN 層 2 2 c 上の所定領域にレジスト（図示せず）を形成する。そして、そのレジストをマスクとして、フッ酸系のエッチング液を用いてウェットエッチングすることによって、SiO₂ 層 2 2 b と SiN 層 2 2 a および 2 2 c とのエッチングレートの違いを利用して、図 6 に示したようなオーバーハング形状を有するマスク層 2 2 を形成する。

【 0 0 5 2 】

その後、 n 型SiC基板21上に、約 500°C ～約 700°C の温度条件下で、約 10nm ～約 50nm の厚みを有するAlGa N またはGa N からなる低温バッファ層23を形成する。そして、MOCVD法またはHVPE法を用いて、マスク層22を選択成長マスクとして、低温バッファ層23上に、 n 型Ga N 層24を成長させる。この n 型Ga N 層24は、約 950°C ～約 1200°C の温度条件下で約 $2\mu\text{m}$ の厚みで形成する。なお、この n 型Ga N 層24は、本発明の「窒化物系半導体層」の一例である。

【0053】

この第2実施形態においても、マスク層22のオーバーハング部の下には、図1に示した概念図と同様の小さなファセットが形成されるので、通常よりも薄い膜厚で成長初期の段階から横方向成長が促進される。これにより、 n 型SiC基板21上に、低転位の n 型Ga N 層24を薄い膜厚でヘテロ成長させることができる。

【0054】

また、 n 型SiC基板21と n 型Ga N 層24との間に低温バッファ層23を形成することによって、 n 型Ga N 層24の結晶成長がさらに促進されるので、オーバーハング部下の低温バッファ層23上に小さなファセット部をより多く形成することができる。これにより、横方向成長をより促進させることができるので、 n 型SiC基板21上に、より薄い膜厚で低転位の n 型Ga N 層24をヘテロ成長させることができる。

【0055】

次に、図7を参照して、図6に示した第2実施形態の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子の構造について説明する。この第2実施形態による半導体レーザ素子では、図6に示した n 型Ga N 層24上に、図7に示すように、約 $4\mu\text{m}$ の膜厚を有する n 型Ga N からなる第1導電型コンタクト層115が形成されている。第1導電型コンタクト層115上には、約 $0.45\mu\text{m}$ の膜厚を有する n 型AlGa N からなる第1導電型クラッド層116が形成されている。第1導電型クラッド層116上には、InGa N からなる多重量子井戸(MQW)発光層117が形成されている。MQW発光層117上には、約 $0.45\mu\text{m}$ の膜厚

を有する p 型 A l G a N からなる第 2 導電型クラッド層 1 1 8 が形成されている。その第 2 導電型クラッド層 1 1 8 上には、約 0. 1 5 μ m の膜厚を有する p 型 G a N からなる第 2 導電型コンタクト層 1 1 9 が形成されている。また、n 型 S i C 基板 2 1 の裏面には、n 型の第 1 導電型電極 1 2 0 が形成されている。また、第 2 導電型コンタクト層 1 1 9 の上面上には、p 型の第 2 導電型電極 1 2 1 が形成されている。

【 0 0 5 6 】

なお、第 1 導電型コンタクト層 1 1 5、第 1 導電型クラッド層 1 1 6、MQW 発光層 1 1 7、第 2 導電型クラッド層 1 1 8 および第 2 導電型コンタクト層 1 1 9 は、本発明の「窒化物系半導体素子層」の一例である。

【 0 0 5 7 】

第 2 実施形態による半導体レーザ素子では、薄い厚みで転位が低減された n 型 G a N 層 2 4 を形成した後、その n 型 G a N 層 2 4 上に、各層 1 1 5 ~ 1 1 9 を形成するので、各層 1 1 5 ~ 1 1 9 において良好な結晶性を実現することができる。これにより、この第 2 実施形態では、厚みが薄く、かつ、良好な素子特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

【 0 0 5 8 】

なお、上記第 2 実施形態では、中間層である S i O₂ 層 2 2 b と、下層の S i N 層 2 2 a および上層の S i N 層 2 2 c とのエッチングレートの差を利用して、図 6 に示したようなオーバーハング形状を有するマスク層 2 2 を形成したが、中間層よりも上層および下層がエッチングされやすい材料であれば、他の組み合わせも可能である。たとえば、上層または下層をタングステンなどの金属で構成し、中間層を S i O₂、S i N、T i O₂、T i N など で構成してもよい。

【 0 0 5 9 】

(第 3 実施形態)

図 8 は、本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。また、図 9 は、図 8 に示した窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【 0 0 6 0 】

まず、図 8 を参照して、第 3 実施形態の窒化物系半導体の形成方法について説明する。この第 3 実施形態では、まず、下地としてのサファイア基板 3 1 上に、直接オーバーハング部を有するマスク層 3 2 を形成する。このマスク層 3 2 は、プラズマ CVD 法を用いて RF パワー 1 5 0 W で形成された下層の SiN 層 3 2 a と、プラズマ CVD 法で RF パワー 2 5 0 W で形成された上層の SiN 層 3 2 b とからなる 2 層構造を有するとともに、約 5 0 n m ～ 約 1 0 0 0 n m の厚みを有する。この場合、上記のように形成された上層の SiN 層 3 2 b は、下層の SiN 層 3 2 a よりもエッチングされにくくなる。

【 0 0 6 1 】

マスク層 3 2 の具体的な形成方法としては、まず、サファイア基板 3 1 上の全面に、下層の SiN 層 3 2 a と上層の SiN 層 3 2 b とを上記した条件で順次形成した後、上層の SiN 層 3 2 b 上の所定領域に、レジスト（図示せず）を形成する。そして、そのレジストをマスクとして、バッファードフッ酸を用いて、上層の SiN 層 3 2 b および下層の SiN 層 3 2 a をウェットエッチングすることによって、図 8 に示したようなオーバーハング形状を有する 2 層構造のマスク層 3 2 を形成する。このマスク層 3 2 では、隣接するマスク層 3 2 （SiN 層 3 2 b）間の最短距離が、隣接するマスク層 3 2 間に位置するサファイア基板 3 1 の露出部の幅よりも小さい。

【 0 0 6 2 】

この後、MOCVD 法または HVPE 法を用いて、マスク層 3 2 を選択成長マスクとして、サファイア基板 3 1 上に、高温成長のアンドープ GaN 層 3 3 を選択横方向成長させる。この第 3 実施形態においても、マスク層 3 2 は、オーバーハング形状を有しているので、そのオーバーハング部下には、図 1 の概念図に示したと同様の小さなファセットが形成される。この小さなファセットは、大きなファセットよりも早く横方向に成長するため、通常よりも薄い膜厚で成長初期から横方向成長が促進される。その結果、サファイア基板 3 1 上に、薄い膜厚で低転位のアンドープ GaN 層 3 3 をヘテロ成長させることができる。なお、このアンドープ GaN 層 3 3 は、本発明の「窒化物系半導体層」の一例である。

【 0 0 6 3 】

次に、図 9 を参照して、第 3 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子について説明する。この半導体素子では、図 8 に示したアンドープ GaN 層 3 3 上に、図 9 に示すように、第 1 導電型コンタクト層 1 0 5、第 1 導電型クラッド層 1 0 6、MQW 発光層 1 0 7、第 2 導電型クラッド層 1 0 8、第 2 導電型コンタクト層 1 0 9、n 型の第 1 導電型電極 1 1 0 および p 型の第 2 導電型電極 1 1 1 が形成されている。なお、各層 1 0 5 ~ 1 0 9 の組成および膜厚は、図 5 に示した第 1 実施形態の半導体レーザ素子と同様である。

【 0 0 6 4 】

第 3 実施形態では、このように薄い膜厚で形成された低転位のアンドープ GaN 層 3 3 上に、各層 1 0 5 ~ 1 0 9 を形成することによって、各層 1 0 5 ~ 1 0 9 において、良好な結晶性を実現することができる。その結果、第 3 実施形態では、第 1 実施形態と同様、厚みが薄く、かつ、良好な特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

【 0 0 6 5 】

(第 4 実施形態)

図 1 0 は、本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。図 1 1 は、図 1 0 に示した第 4 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【 0 0 6 6 】

まず、図 1 0 を参照して、第 4 実施形態の窒化物系半導体の形成方法について説明する。この第 4 実施形態では、下地としての n 型 SiC 基板 4 1 上に、タングステン (W) からなるオーバーハング部 4 2 a を有する逆メサ形状 (逆台形形状) のマスク層 4 2 を形成する。このマスク層 4 2 は、約 1 0 nm ~ 約 1 0 0 0 nm の厚みで、約 5 μ m の周期のストライプ状に形成する。このマスク層 4 2 では、隣接するマスク層 4 2 間の最短距離が、隣接するマスク層 4 2 間に位置する n 型 SiC 基板 4 1 の露出部の幅よりも小さい。

【 0 0 6 7 】

この W からなるオーバーハング部 4 2 a を有するマスク層 4 2 の形成方法としては、まず、n 型 SiC 基板 4 1 上の全面に W 層 (図示せず) を形成した後、そ

のW層上の所定領域にレジスト（図示せず）を形成する。そして、そのレジストをマスクとして、W層をエッチングする際、オーバーエッチングとなるようにエッチング条件を調整する。これにより、Wからなるオーバーハング部42aを有するマスク層42が形成される。

【0068】

この後、MOCVD法またはHVPE法を用いて、マスク層42を選択成長マスクとして、n型SiC基板41上に、n型のInGaN層43を選択成長させる。このInGaN層43は、約650℃～約900℃の温度条件下で約2μmの厚みで形成する。なお、n型SiC基板41上に、直接InGaN層43を成長させると、マスク層42のオーバーハング部42a下に、図1の概念図に示したような小さなファセットが形成される。この小さなファセットによって、横方向成長が促進されるので、図25に示した従来例のように下地層としてGaN層を設けなくても、n型SiC基板41上に、低転位のInGaN層43を厚く成長させることができる。この場合、下地層としてのGaN層を設ける必要がない分、図25に示した従来例に比べて、全体の厚みを薄くすることができる。なお、このInGaN層43は、本発明の「窒化物系半導体層」の一例である。

【0069】

次に、図11を参照して、第4実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて形成した半導体レーザ素子の構造を説明する。この第4実施形態の半導体レーザ素子では、図10に示したInGaN層43上に、第1導電型コンタクト層115、第1導電型クラッド層116、MQW発光層117、第2導電型クラッド層118および第2導電型コンタクト層119が形成されている。また、n型SiC基板41の裏面には、n型の第1導電型電極120が形成されている。また、第2導電型コンタクト層119の上面上には、p型の第2導電型電極121が形成されている。なお、上記した各層115～119の組成および膜厚は、図7に示した第2実施形態の半導体レーザと同様である。

【0070】

第4実施形態による半導体レーザ素子では、図10に示した形成方法を用いて形成された低転位のInGaN層43上に、各層115～119を形成するので

、各層 1 1 5 ~ 1 1 9 において良好な結晶性を実現することができる。また、図 1 0 に示した窒化物系半導体の形成方法では、全体の厚みが薄く形成されるので、その上に各層 1 1 5 ~ 1 1 9 を形成した場合、半導体レーザ素子の厚みが薄くなる。これにより、この第 4 実施形態では、第 2 実施形態と同様、厚みが薄く、かつ、良好な素子特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

【 0 0 7 1 】

(第 5 実施形態)

図 1 2 は、本発明の第 5 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。図 1 3 は、図 1 2 に示した窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。まず、図 1 2 を参照して、第 5 実施形態の窒化物系半導体の形成方法について説明する。

【 0 0 7 2 】

まず、この第 5 実施形態では、下地としての n 型 GaAs 基板 5 1 の表面上に、SiN からなるマスク層 5 2 を約 1 0 n m ~ 約 1 0 0 0 n m の厚みで、5 μ m の周期で形成する。そして、このマスク層 5 2 をマスクとして、n 型 GaAs 基板 5 1 をエッチングする。この際、オーバーエッチングを行うことによって、n 型 GaAs 基板 5 1 に、逆メサ形状の凸部 5 1 a を形成する。なお、この n 型 GaAs 基板 5 1 のエッチングは、 $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (4 : 1 : 1) または $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (3 : 1 : 1) を用いて行う。

【 0 0 7 3 】

この後、n 型 GaAs 基板 5 1 の露出された表面上に、約 5 0 0 $^{\circ}\text{C}$ ~ 約 7 0 0 $^{\circ}\text{C}$ の温度条件下で約 1 0 n m ~ 約 5 0 n m の厚みを有する AlGaIn または GaIn からなる低温バッファ層 5 3 を形成する。

【 0 0 7 4 】

MOCVD 法または HVPE 法を用いて、マスク層 5 2 を選択成長マスクとして、低温バッファ層 5 3 上に、n 型 GaIn 層 5 4 を選択横方向成長させる。この場合、マスク層 5 2 下の凸部 5 1 a は逆メサ形状を有しているので、マスク層 5 2 の両端部は、n 型 GaAs 基板 5 1 の露出部の上方に突出したオーバーハング形状を有する構造になる。すなわち、このマスク層 5 2 では、隣接するマスク層

5 2 間の最短距離W 1 が、隣接するマスク層 5 2 間に位置する n 型 G a A s 基板 5 1 の露出部の幅W 2 よりも小さい。このようなマスク層 5 2 のオーバーハング部下には、図 1 の概念図に示したと同様の小さなファセットが形成される。これにより、横方向成長が促進されて薄い膜厚で低転位の n 型 G a N 層 5 4 を形成することができる。なお、この n 型 G a N 層 5 4 は、本発明の「窒化物系半導体層」の一例である。

【 0 0 7 5 】

また、n 型 G a A s 基板 5 1 と n 型 G a N 層 5 4 との間に低温バッファ層 5 3 を形成することによって、n 型 G a N 層 5 4 の結晶成長がさらに促進されるので、オーバーハング部下の低温バッファ層 5 3 上に小さなファセット部をより多く形成することができる。これにより、横方向成長をより促進させることができるので、n 型 G a A s 基板 5 1 上に、より薄い膜厚で低転位の n 型 G a N 層 5 4 をヘテロ成長させることができる。

【 0 0 7 6 】

次に、図 1 3 を参照して、図 1 2 に示した第 5 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子について説明する。この第 5 実施形態の半導体レーザ素子では、図 1 2 に示した n 型 G a N 層 5 4 上に、第 1 導電型コンタクト層 1 1 5、第 1 導電型クラッド層 1 1 6、MQW 発光層 1 1 7、第 2 導電型クラッド層 1 1 8 および第 2 導電型コンタクト層 1 1 9 が形成されている。また、n 型 G a A s 基板 5 1 の裏面には、n 型の第 1 導電型電極 1 2 0 が形成されている。また、第 2 導電型コンタクト層 1 1 9 の上面上には、p 型の第 2 導電型電極 1 2 1 が形成されている。なお、上記した各層 1 1 5 ～ 1 1 9 の組成および膜厚は、図 7 に示した第 2 実施形態の半導体レーザと同様である。

【 0 0 7 7 】

第 5 実施形態による半導体レーザ素子では、図 1 2 に示した形成方法を用いて形成された厚みの薄い低転位の n 型 G a N 層 5 4 上に、各層 1 1 5 ～ 1 1 9 を形成するので、各層 1 1 5 ～ 1 1 9 において良好な結晶性を実現することができる。これにより、この第 5 実施形態では、第 2 および第 4 実施形態と同様、厚みが薄く、かつ、良好な素子特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

【 0 0 7 8 】

(第 6 実施形態)

図 1 4 は、本発明の第 6 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。図 1 5 は、図 1 4 に示した第 6 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【 0 0 7 9 】

図 1 4 を参照して、まず、第 6 実施形態の窒化物系半導体の形成方法について説明する。この第 6 実施形態では、下地としての n 型 S i 基板 6 1 の表面に、タングステン (W) 層を約 1 0 n m ～ 約 1 0 0 0 n m の膜厚で形成した後、フォトリソグラフィ技術を用いてパターンニングすることによって、約 1 0 μ m 周期のストライプ状の W からなるマスク層 6 2 を形成する。そして、マスク層 6 2 をマスクとして、 $\text{HF} : \text{HNO}_3 : \text{CH}_3\text{COOH} (1 : 5 : 1)$ を用いて、n 型 S i 基板 6 1 をエッチングすることによって、図 1 4 に示されるような、マスク層 6 2 の両端部下に位置する n 型 S i 基板 6 1 の領域がえぐられた形状を形成する。つまり、マスク層 6 2 の両端部は、n 型 S i 基板 6 1 の露出部の端部の上方に突出したオーバーハング形状となる。このマスク層 6 2 では、隣接するマスク層 6 2 間の最短距離 W 1 が、隣接するマスク層 6 2 間に位置する n 型 S i 基板 6 1 の露出部の幅 W 2 よりも小さい。

【 0 0 8 0 】

このマスク層 6 2 を選択成長マスクとして、MOCVD 法または HVPE 法を用いて、n 型 S i 基板 6 1 上に、n 型 G a N 層 6 3 を選択横方向成長させる。この場合、マスク層 6 2 の両端部のオーバーハング部下に位置する n 型 S i 基板 6 1 の表面には、図 1 の概念図に示したと同様の小さなファセットが形成される。これにより、成長初期の早い段階から横方向成長が促進されて、n 型 S i 基板 6 1 上に、薄い膜厚で低転位の n 型 G a N 層 6 3 をヘテロ成長させることができる。なお、この n 型 G a N 層 6 3 は、本発明の「窒化物系半導体層」の一例である。

【 0 0 8 1 】

次に、図 1 5 を参照して、図 1 4 に示した第 6 実施形態の窒化物系半導体の形

成方法を用いて形成した半導体レーザ素子の構造について説明する。この第6実施形態による半導体レーザ素子では、図14に示したn型Ga_{0.9}N_{0.1}層63上に、第1導電型コンタクト層115、第1導電型クラッド層116、MQW発光層117、第2導電型クラッド層118および第2導電型コンタクト層119が形成されている。また、n型Si基板61の裏面には、n型の第1導電型電極120が形成されている。また、第2導電型コンタクト層119の上面上には、p型の第2導電型電極121が形成されている。なお、上記した各層115～119の組成および膜厚は、図7に示した第2実施形態の半導体レーザと同様である。

【0082】

第6実施形態による半導体レーザ素子では、図14に示した形成方法を用いて形成された厚みの薄い低転位のn型Ga_{0.9}N_{0.1}層63上に、各層115～119を形成するので、各層115～119において良好な結晶性を実現することができる。これにより、この第6実施形態では、第2、第4および第5実施形態と同様、厚みが薄く、かつ、良好な素子特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

【0083】

なお、上記した第1～第6実施形態においては、基板として、サファイア基板、Si基板、SiC基板、GaAs基板を用いたが、これらの基板に加えて、スピネル基板、GaP基板、InP基板、水晶基板などを用いてもよく、これらの窒化物系半導体以外の基板を用いる場合に、特に転位減少の効果が大きい。

【0084】

(第7実施形態)

図16は、本発明の第7実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。図17は、図16に示した第7実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【0085】

まず、図16を参照して、第7実施形態の窒化物系半導体の形成方法について説明する。この第7実施形態では、下地としてのn型Ga_{0.9}N_{0.1}基板71上に、オーバーハング部72aを有する逆メサ形状のSiNからなるマスク層72を形成す

る。このSiNからなるマスク層72は、約10nm～約1000nmの膜厚を有するとともに、約10 μ mの周期でストライプ状に形成する。このマスク層72の形成方法としては、まず、n型GaN基板71上の全面にSiN層（図示せず）を形成した後、そのSiN層上の所定領域にレジスト（図示せず）を形成する。そして、そのレジストをマスクとして、SiN層をエッチングする際に、オーバーエッチングする。これにより、オーバーハング部72aを有する逆メサ形状のマスク層72が形成される。このマスク層72では、隣接するマスク層72間の最短距離が、隣接するマスク層72間に位置するn型GaN基板71の露出部の幅よりも小さい。

【0086】

この後、MOCVD法またはHVPE法を用いて、マスク層72を選択成長マスクとして、n型GaN基板71上に、n型のBGaN層73を選択横方向成長させる。このBGaN層73は、約850℃～約1400℃の温度条件下で約2 μ mの厚みを有するように形成する。この場合、マスク層72のオーバーハング部72a下には、図1の概念図に示したと同様の小さなファセットが形成される。これにより、横方向成長が促進されて、下地のGaN層がない状態でも、n型GaN基板71上に、低転位のBGaN層73を厚く形成することができる。この場合、下地層としてのGaN層を設ける必要がない分、図25に示した従来例に比べて、全体の厚みを薄くすることができる。なお、このBGaN層73は、本発明の「窒化物系半導体層」の一例である。

【0087】

次に、図17を参照して、第7実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて形成した半導体レーザ素子について説明する。この半導体レーザ素子では、図16に示したBGaN層73上に、第1導電型コンタクト層115、第1導電型クラッド層116、MQW発光層117、第2導電型クラッド層118および第2導電型コンタクト層119が形成されている。また、n型GaN基板71の裏面には、n型の第1導電型電極120が形成されている。また、第2導電型コンタクト層119の上面上には、p型の第2導電型電極121が形成されている。なお、上記した各層115～119の組成および膜厚は、図7に示した第2実施形

態の半導体レーザと同様である。

【0088】

第7実施形態による半導体レーザ素子では、低転位のBGaN層73上に、各層115～119を形成するので、各層115～119において良好な結晶性を実現することができる。また、図17の形成方法では、全体の厚みが薄く形成されるので、その上に各層115～119を形成した場合、半導体レーザ素子の厚みが薄くなる。これにより、この第7実施形態においても、第2、第4、第5および第6実施形態と同様、厚みが薄く、かつ、良好な素子特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

【0089】

上記第7実施形態では、窒化物系半導体層としてBGaN層73を形成する例を示したが、本実施形態においては、窒化物系半導体層として形成する材料は、BGaN層73に限られるものではない。たとえば、InN、GaInN、AlGaN、AlGaInN、AlNなどの窒化物系半導体層の混晶やB、In、Tlのうちの少なくとも1つを含む窒化物系半導体層の混晶などの形成が可能である。

【0090】

また、上記第7実施形態では、基板として、GaN基板71を用いたが、GaN基板71に代えて、サファイア基板、Si基板、SiC基板、GaAs基板、スピネル基板、GaP基板、InP基板、水晶基板などを用いてもよい。

【0091】

(第8実施形態)

図18は、本発明の第8実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。図19は、図18に示した第8実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【0092】

まず、図18を参照して、第8実施形態の窒化物系半導体の形成方法について説明する。この第8実施形態では、サファイア基板81上に、約500℃～約700℃の温度条件下で、約10nm～約50nmの厚みを有するAlGaNまた

はGaNからなる低温バッファ層82を形成する。その低温バッファ層82上に、MOCVD法またはHVPE法を用いて、下地となるGaN層83を約2 μ mの厚みで形成する。そのGaN層83上に、オーバーハング部84aを有する逆メサ形状のSiNからなるマスク層84を形成する。このマスク層84では、隣接するマスク層84間の最短距離が、隣接するマスク層84間に位置するGaN層83の露出部の幅よりも小さい。

【0093】

そして、そのようなマスク層84をマスクとして、MOCVD法またはHVPE法を用いて、GaN層83上にAlInGaN層85を選択横方向成長させる。このAlInGaN層85は、約600℃～約1200℃の温度条件下で、約1 μ mの厚みを有するように形成する。

【0094】

この場合、マスク層84のオーバーハング部84a下には、小さなファセットが形成される。これにより、横方向成長が促進されて、薄い厚みで低転位のAlInGaN層85を形成することができる。なお、このAlInGaN層85は、本発明の「窒化物系半導体層」の一例である。

【0095】

次に、図19を参照して、図18に示した窒化物系半導体の形成方法を用いて形成した半導体レーザ素子の構造について説明する。この第8実施形態による半導体レーザ素子では、図18に示したAlInGaN層85上に、図19に示すように、第1導電型コンタクト層105、第1導電型クラッド層106、MQW発光層107、第2導電型クラッド層108、第2導電型コンタクト層109、n型の第1導電型電極110およびp型の第2導電型電極111が形成されている。なお、各層105～109の組成および膜厚は、図5に示した第1実施形態の半導体レーザ素子と同様である。

【0096】

第8実施形態では、このように薄い膜厚で形成された低転位のAlInGaN層85上に、各層105～109を形成することによって、各層105～109において、良好な結晶性を実現することができる。その結果、第8実施形態では

、厚みが薄く、かつ、良好な特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

【 0 0 9 7 】

なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

【 0 0 9 8 】

たとえば、上記実施形態では、種々のオーバーハング形状を有するマスク層を示したが、本発明はこれに限らず、隣接するマスク層間の距離が隣接するマスク層間に位置する下地の露出部の幅よりも小さくなるような形状であれば、上記した実施形態以外の構造であってもよい。

【 0 0 9 9 】

また、上記第 1 ～ 第 8 実施形態では、ストライプ状のマスク層を形成する例を示したが、本発明はこれに限らず、たとえば、六角形のマスク層、三角形のマスク層、六角形の開口部を形成したマスク層、三角形の開口部を形成したマスク層などであってもよい。

【 0 1 0 0 】

【発明の効果】

以上のように、本発明によれば、下地上に、下地とは異なる材料からなる低転位の窒化物系半導体層を薄い膜厚でヘテロ成長させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の窒化物系半導体の形成方法の概念を説明するための断面図である。

【図 2】

本発明の窒化物系半導体の形成方法の概念を説明するための断面図である。

【図 3】

本発明の窒化物系半導体の形成方法の概念を説明するための断面図である。

【図 4】

本発明の第 1 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 5】

図 4 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【図 6】

本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 7】

図 6 に示した第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【図 8】

本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 9】

図 8 に示した第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【図 1 0】

本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 1】

図 1 0 に示した第 4 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【図 1 2】

本発明の第 5 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 3】

図 1 2 に示した第 5 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【図 1 4】

本発明の第 6 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 5】

図 1 4 に示した第 6 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子の断面図である。

【図 1 6】

本発明の第 7 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 7】

図 1 6 に示した第 7 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【図 1 8】

本発明の第 8 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 9】

図 1 8 に示した第 8 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【図 2 0】

従来の選択横方向成長を用いた窒化物系半導体の形成方法の一例を説明するための断面図である。

【図 2 1】

従来の選択横方向成長を用いた窒化物系半導体の形成方法の一例を説明するための断面図である。

【図 2 2】

従来の選択横方向成長を用いた窒化物系半導体の形成方法の一例を説明するための断面図である。

【図 2 3】

従来の選択横方向成長を用いた窒化物系半導体の形成方法の一例を説明するた

めの断面図である。

【図 2 4】

従来の選択横方向成長を用いて基板上に直接窒化物系半導体を形成する方法を説明するための断面図である。

【図 2 5】

従来の混晶からなる窒化物系半導体を形成する方法を説明するための断面図である。

【符号の説明】

- 1 下地
- 2、1 2、2 2、3 2、4 2、5 2、6 2、7 2、8 4 マスク層
- 2 a、1 2 a、4 2 a、7 2 a、8 4 a オーバーハング部
- 3 窒化物系半導体層
- 3 a、3 b ファセット
- 1 1、3 1 サファイア基板（下地）
- 1 3、2 3、5 3 低温バッファ層（バッファ層）
- 1 4、3 3 アンドープ GaN 層（窒化物系半導体層）
- 2 1、4 1 n 型 SiC 基板（下地）
- 2 2 a、2 2 c、3 2 a、3 2 b SiN 層
- 2 2 b SiO₂ 層
- 2 4、5 4、6 3 n 型 GaN 層（窒化物系半導体層）
- 4 3 InGa_xN_{1-x} 層（窒化物系半導体層）
- 5 1 n 型 GaAs 基板（下地）
- 6 1 n 型 Si 基板（下地）
- 7 1 n 型 GaN 基板（下地）
- 7 3 BGaN 層（窒化物系半導体層）
- 8 3 GaN 層（下地）
- 8 5 AlInGa_xN_{1-x} 層（窒化物系半導体層）
- 1 0 5、1 1 5 第 1 導電型コンタクト層（窒化物系半導体素子層）
- 1 0 6、1 1 6 第 1 導電型クラッド層（窒化物系半導体素子層）

1 0 7、1 1 7 MQW発光層（窒化物系半導体素子層）

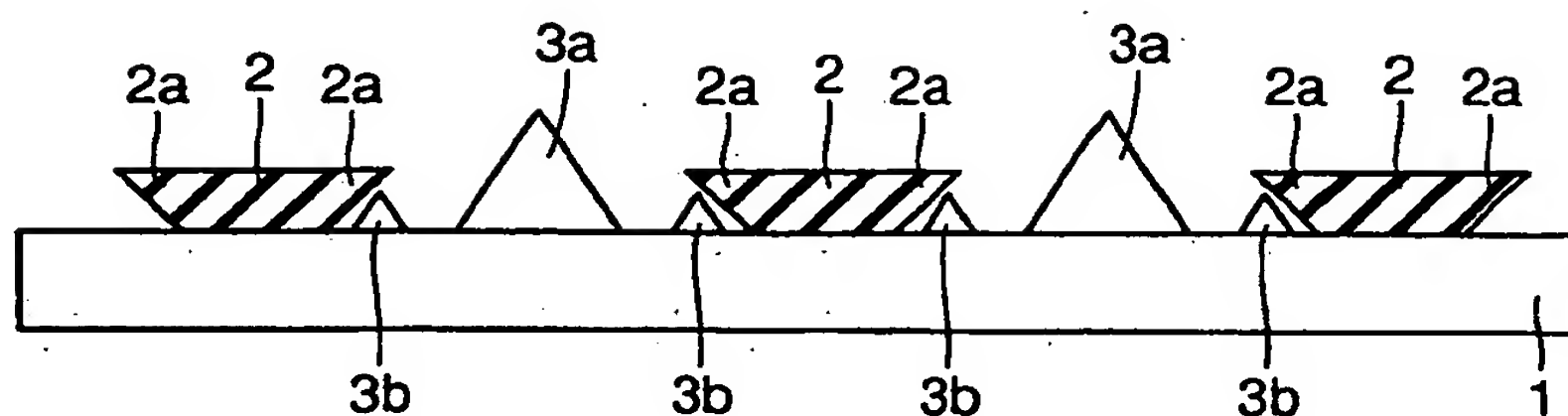
1 0 8、1 1 8 第2導電型クラッド層（窒化物系半導体素子層）

1 0 9、1 1 9 第2導電型コンタクト層（窒化物系半導体素子層）

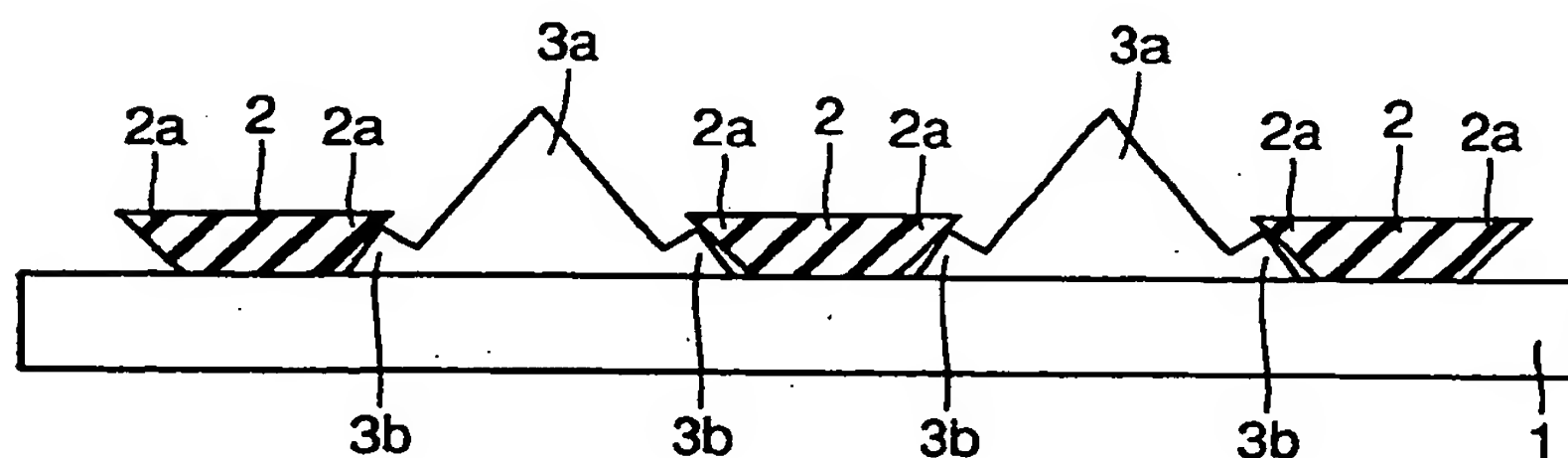
【書類名】

図面

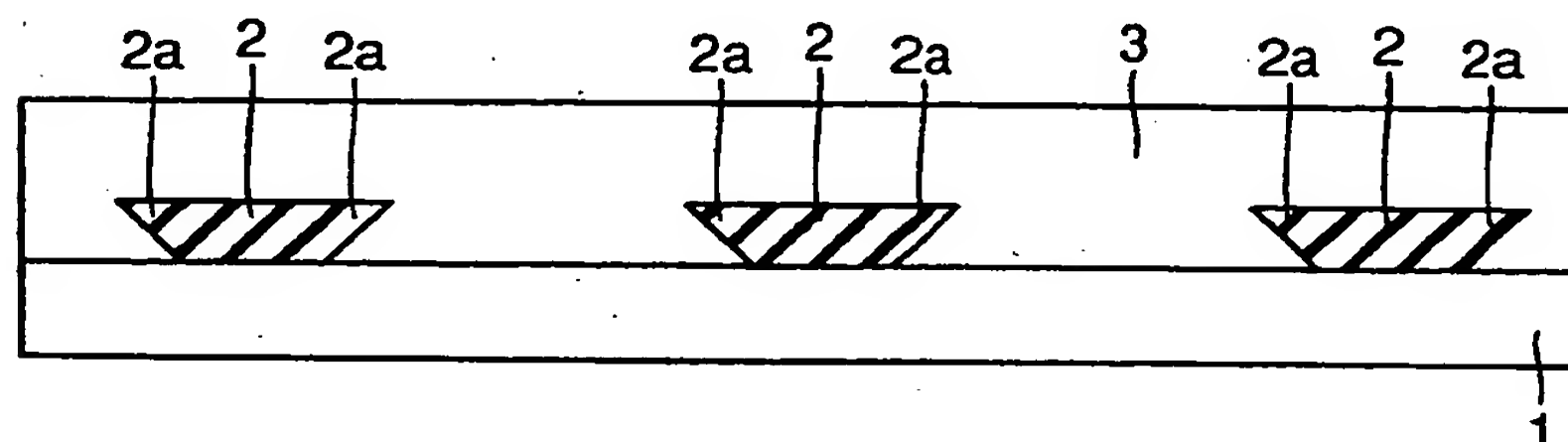
【図 1】



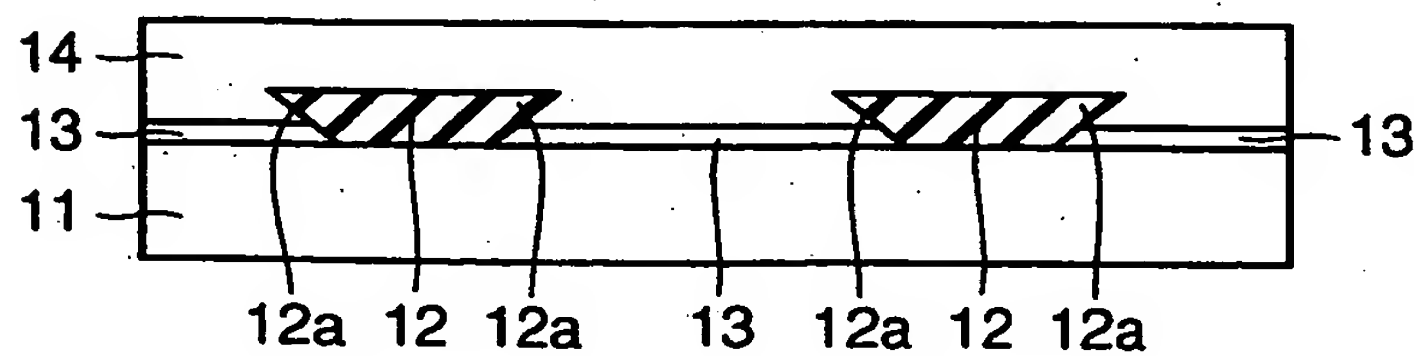
【図 2】



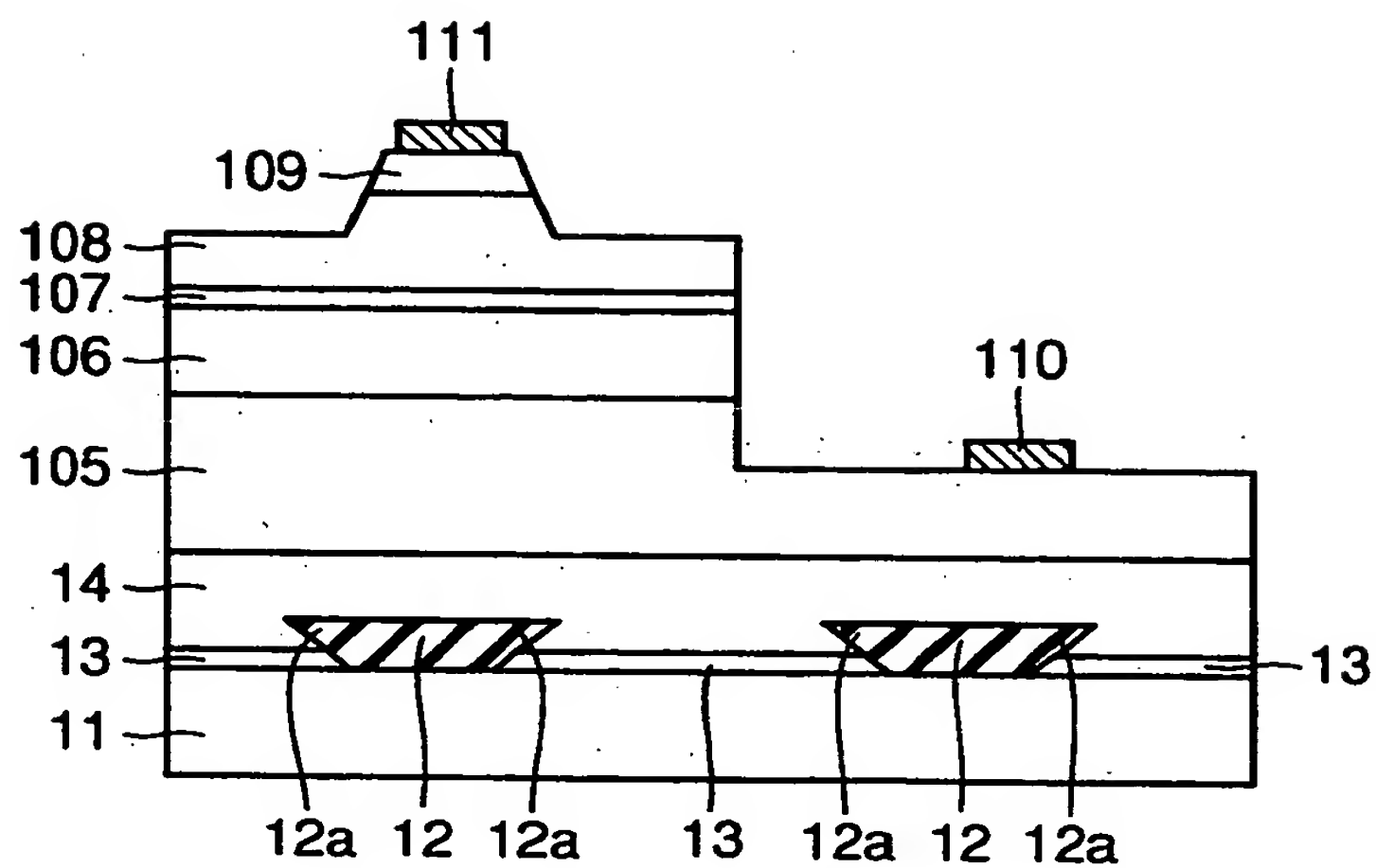
【図 3】



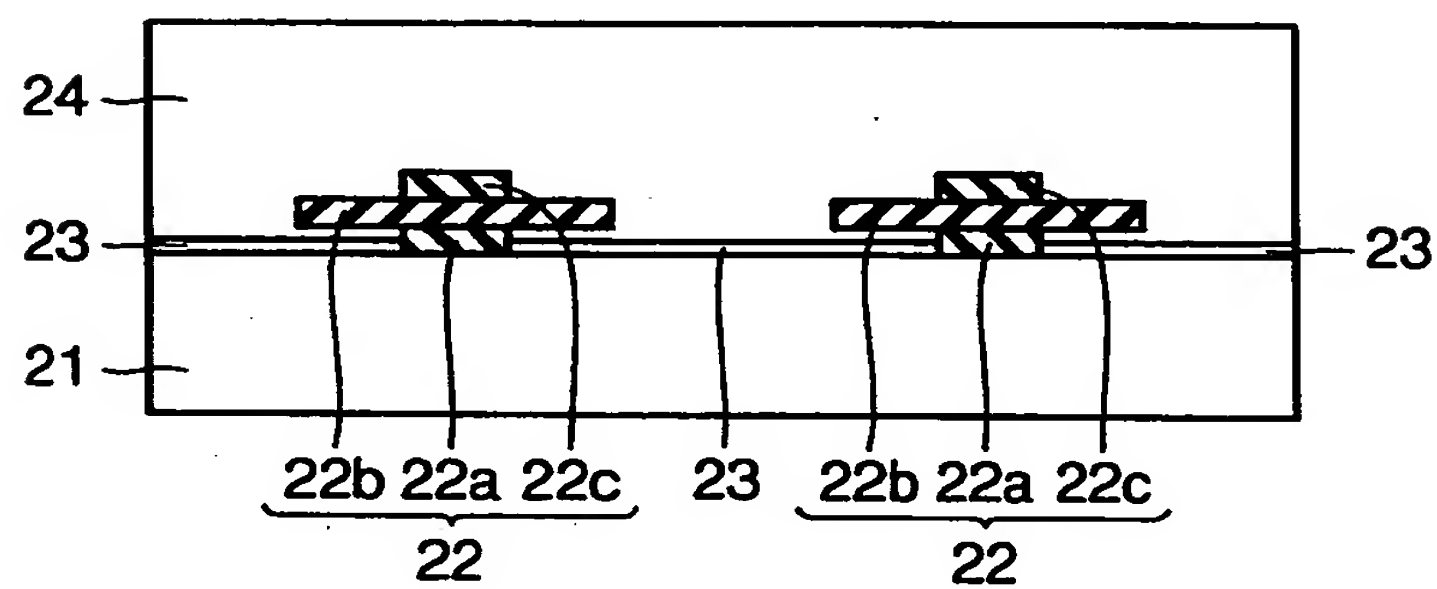
【図 4】



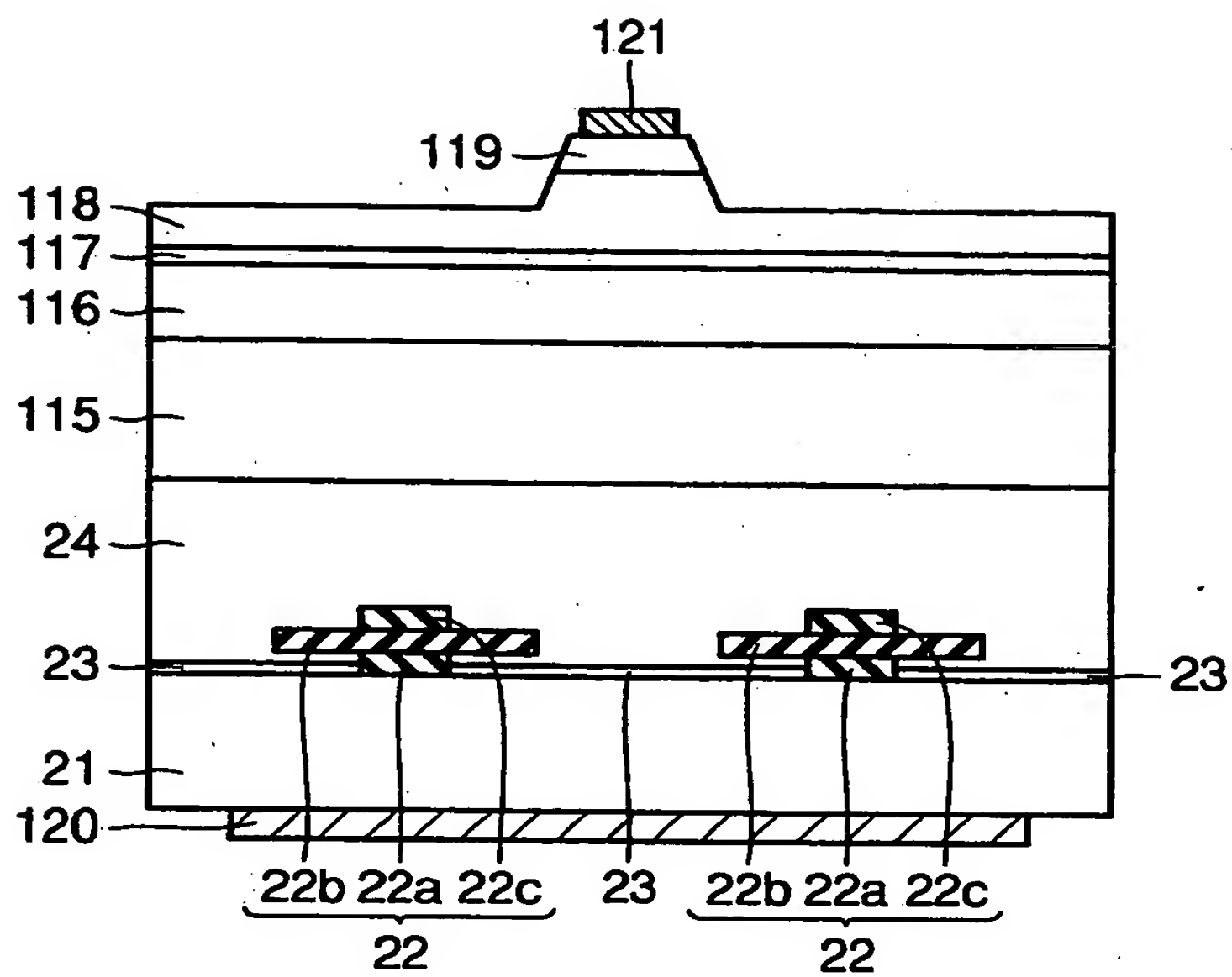
【図 5】



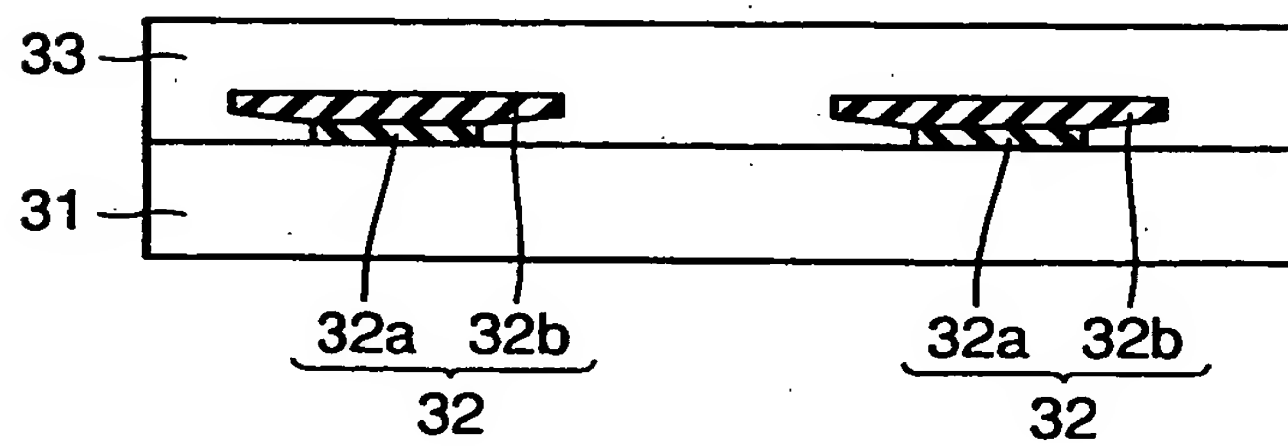
【図 6】



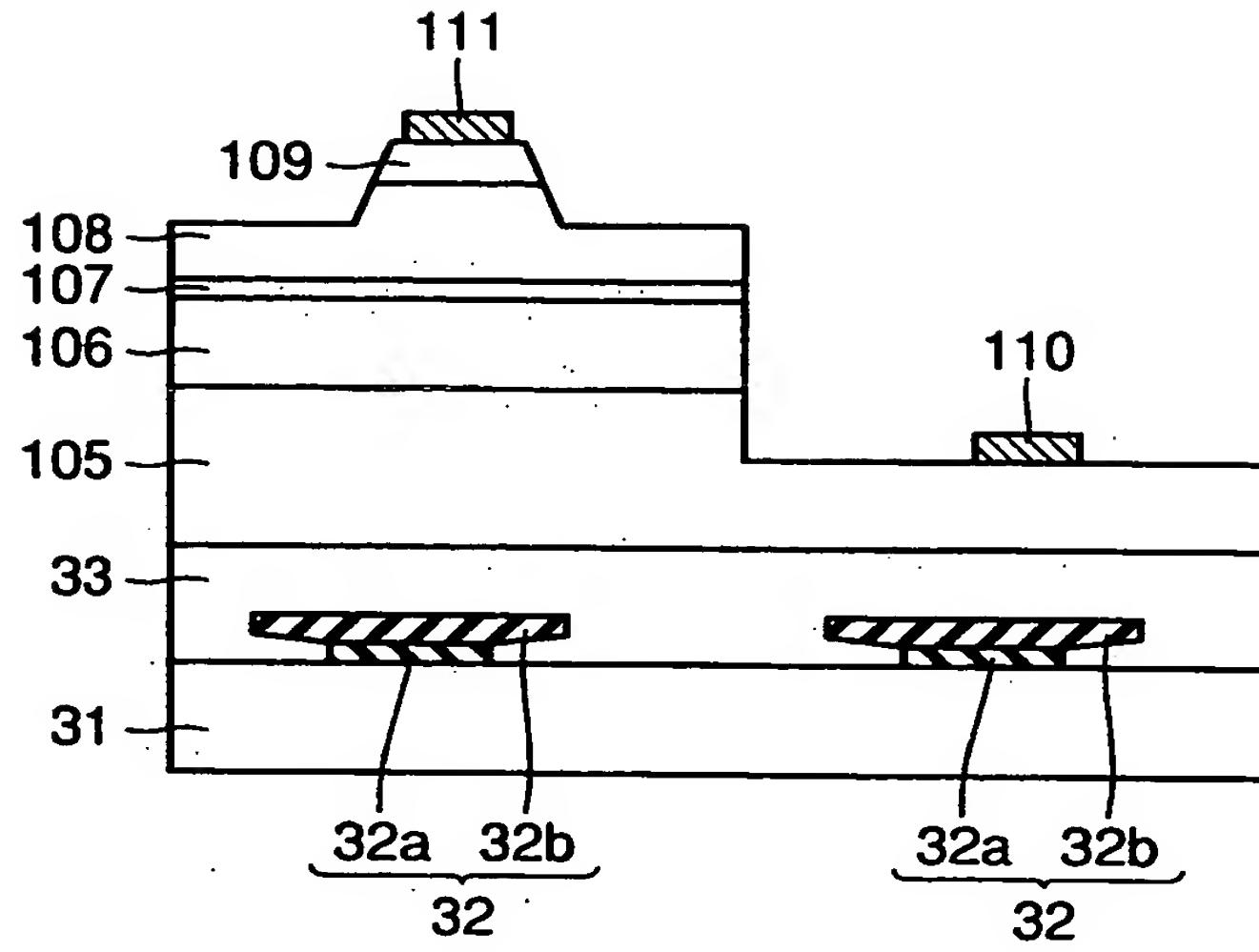
【図 7】



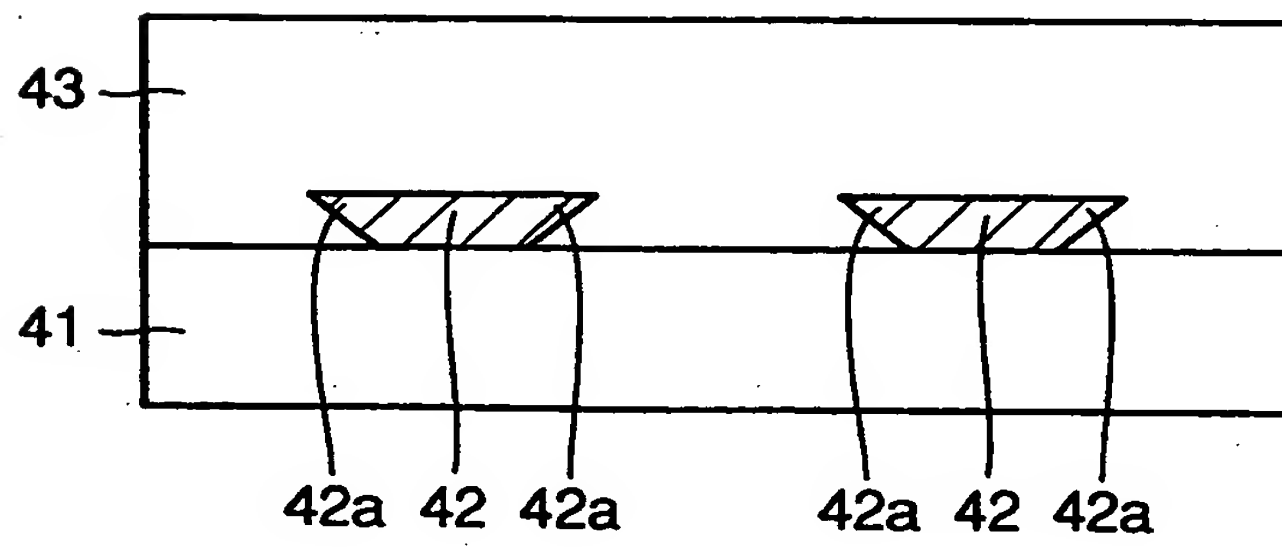
【図 8】



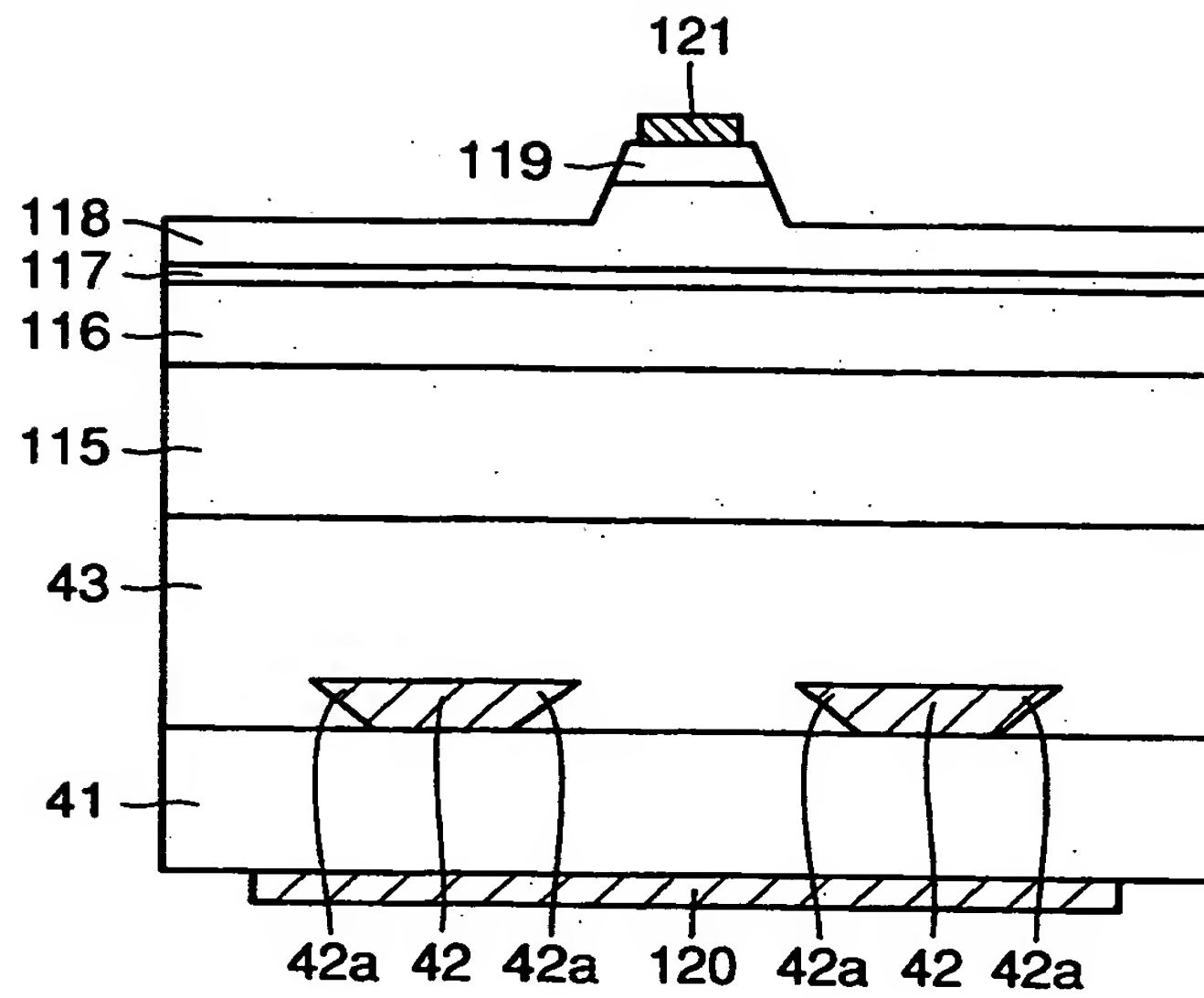
【図 9】



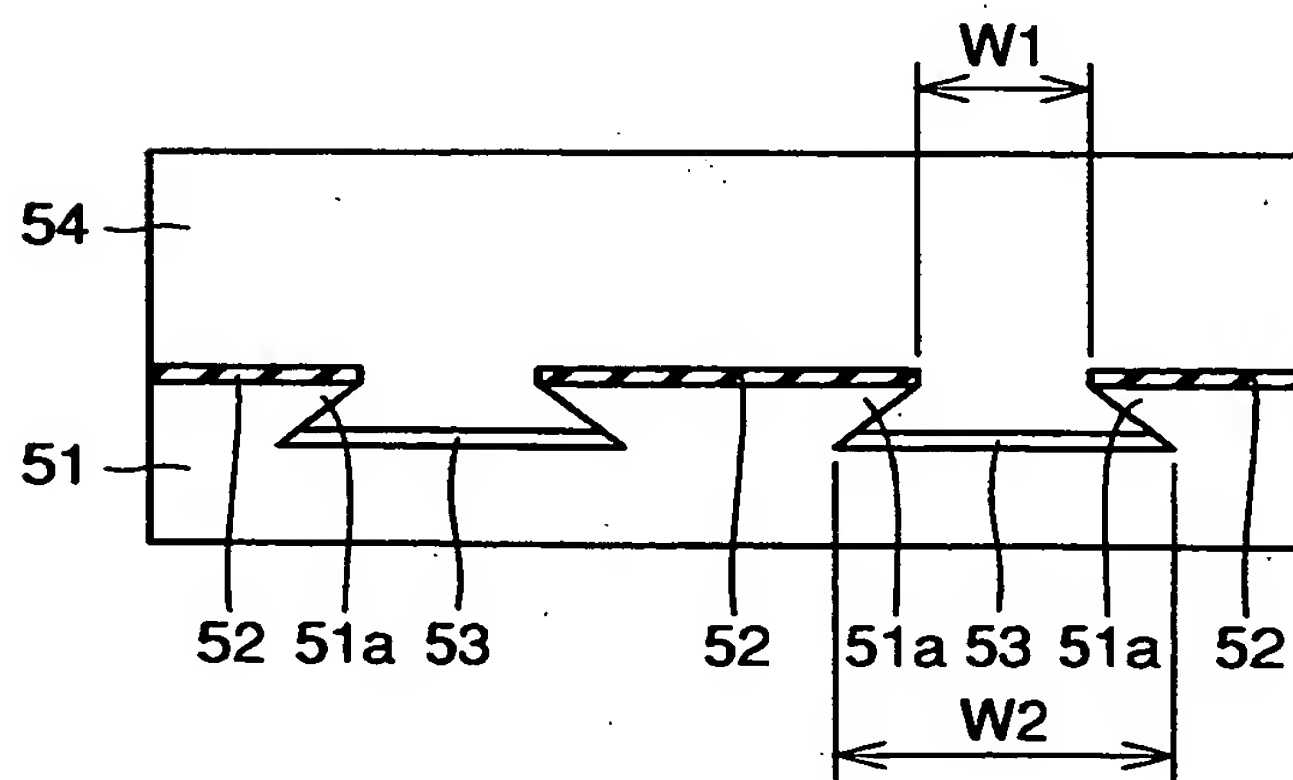
【図 1 0】



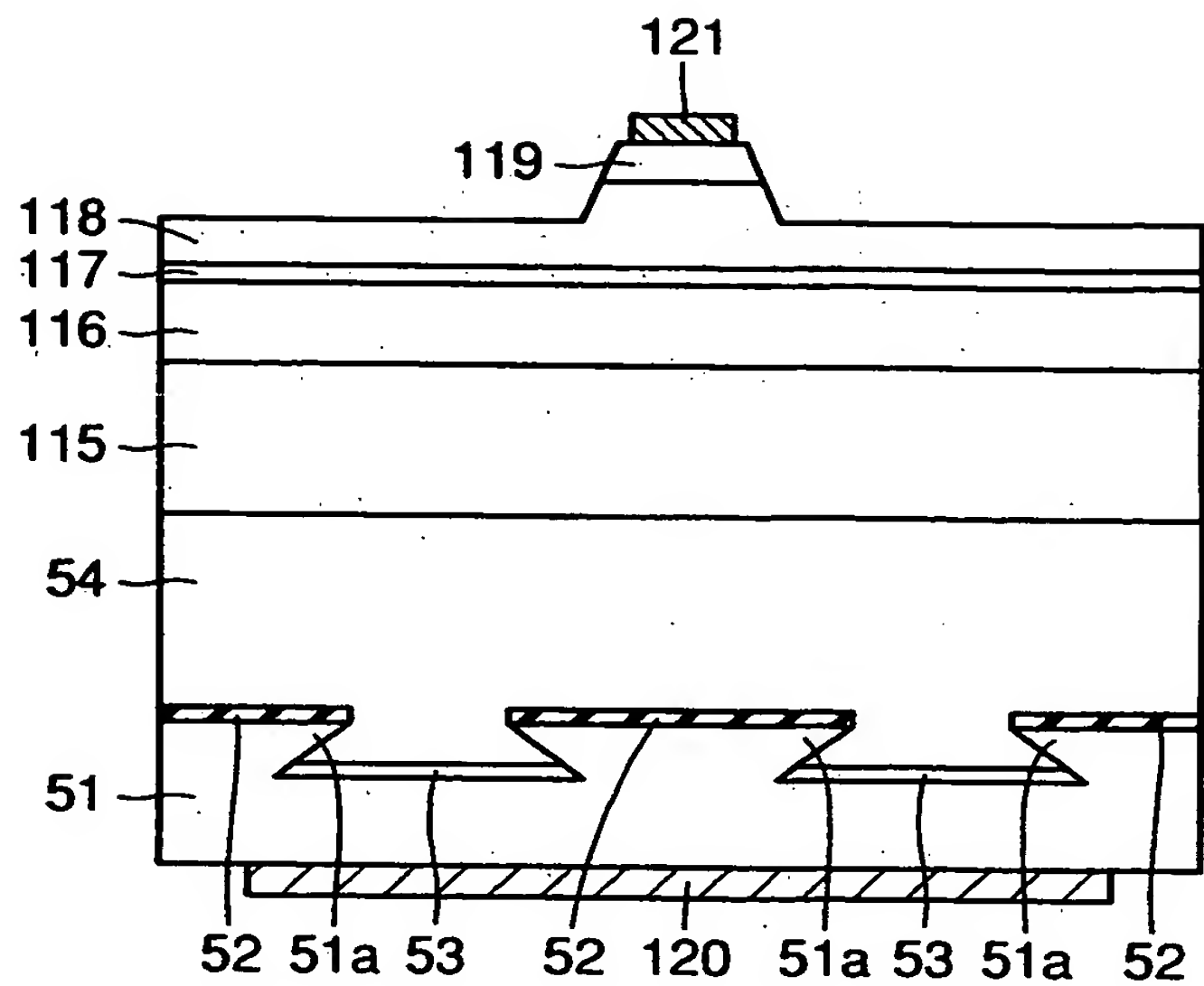
【図 1 1】



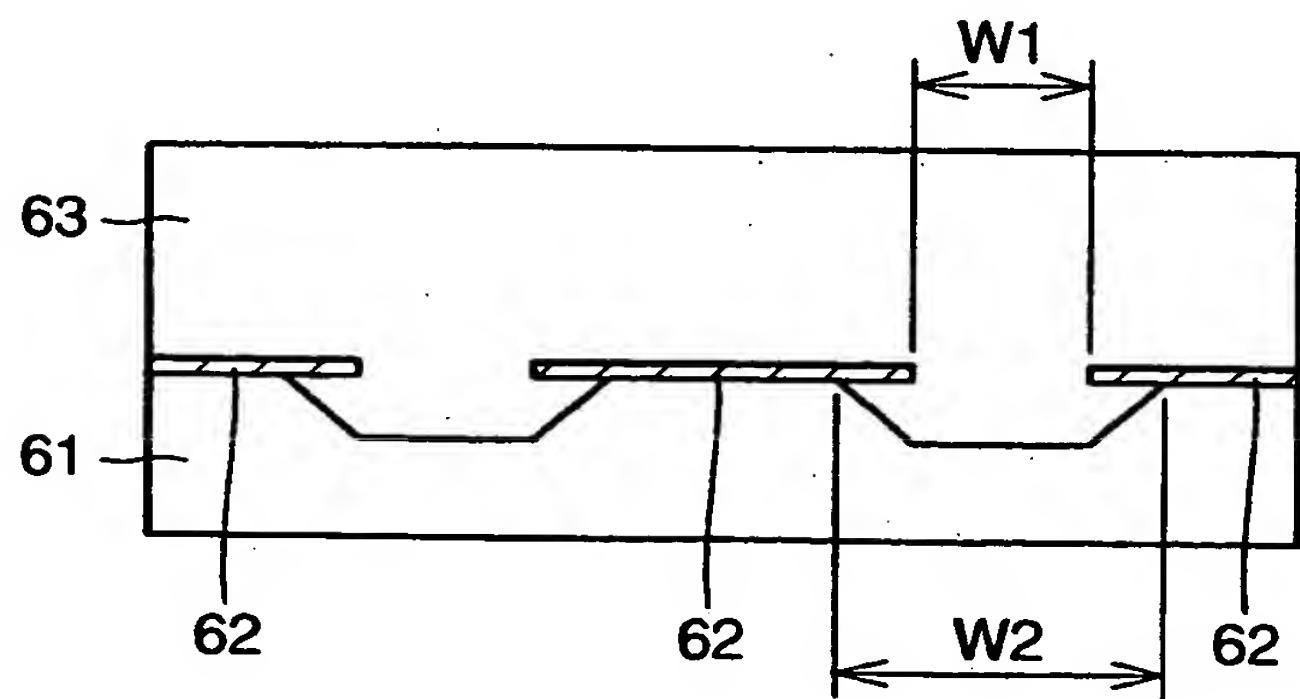
【図 1 2】



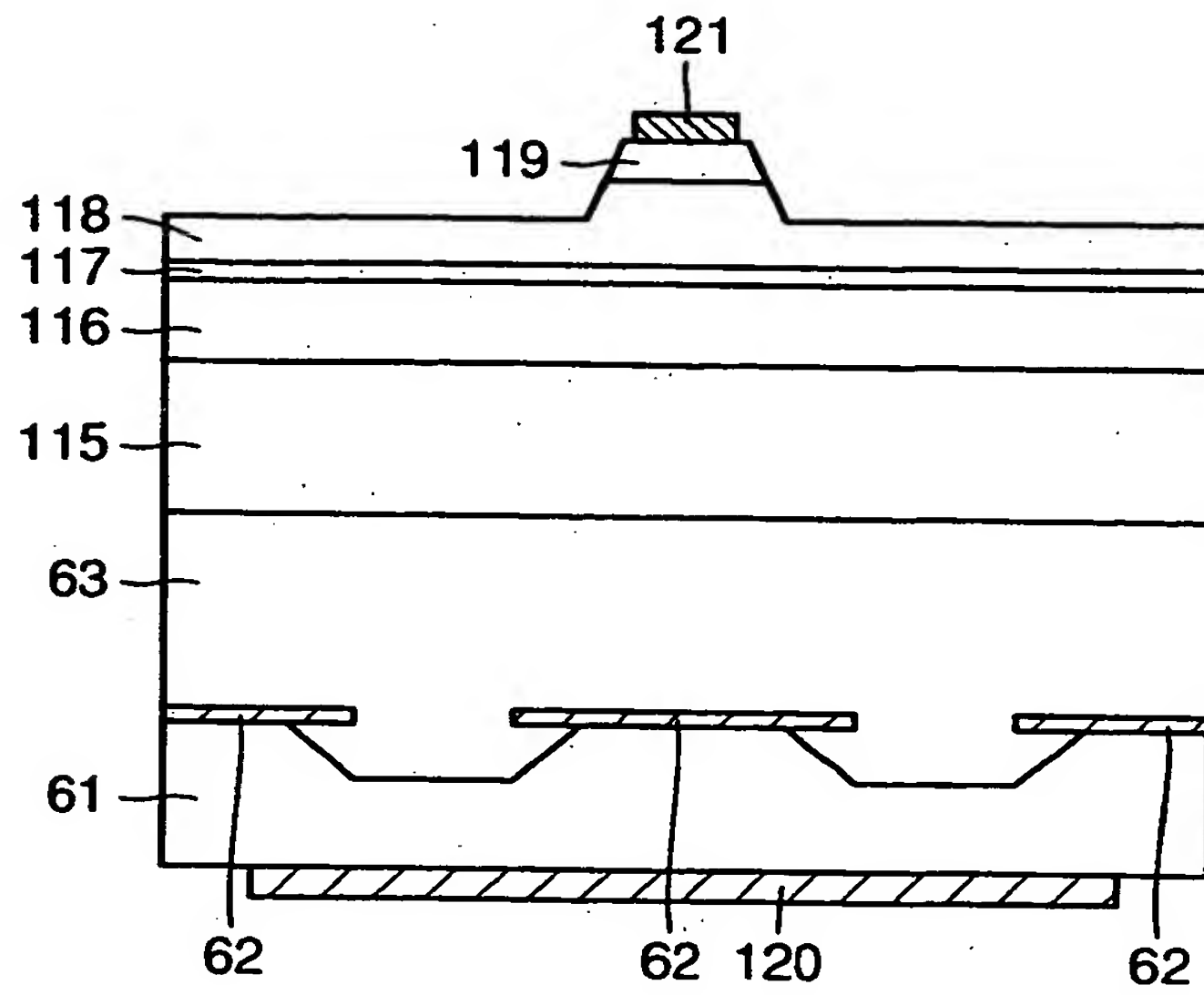
【図 1 3】



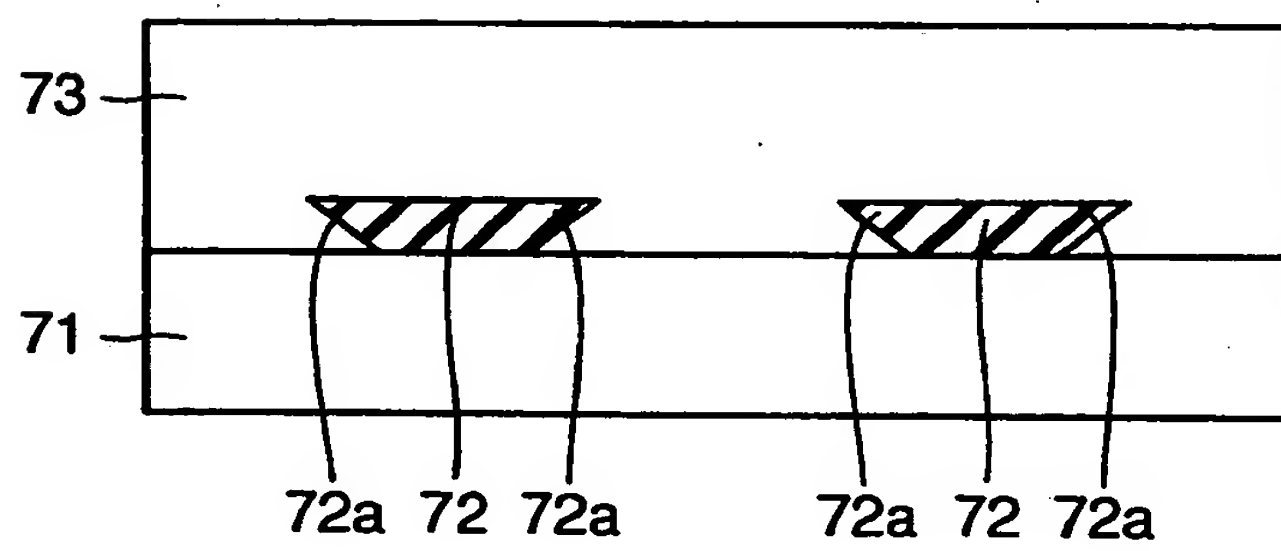
【図 1 4】



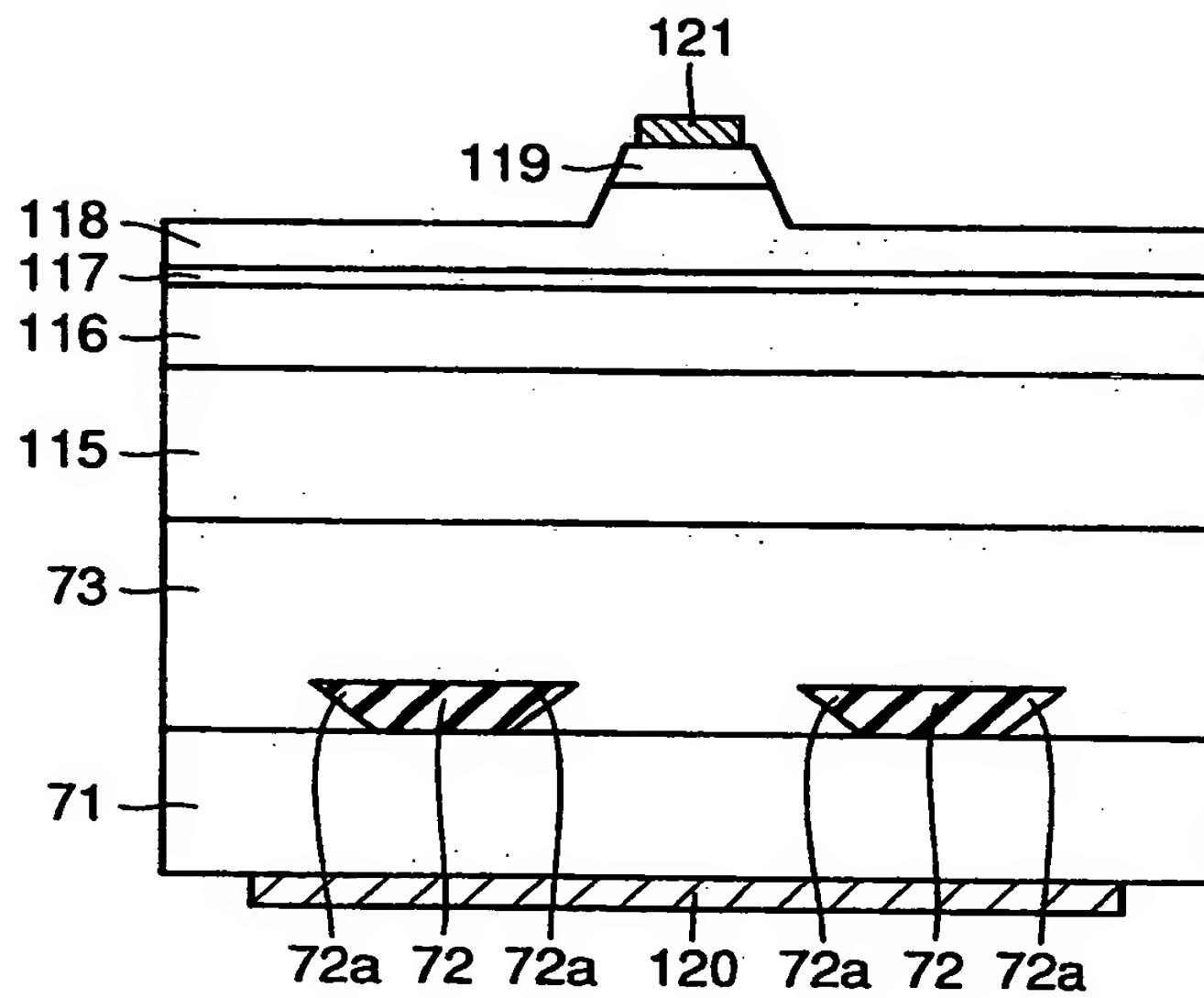
【図 1 5】



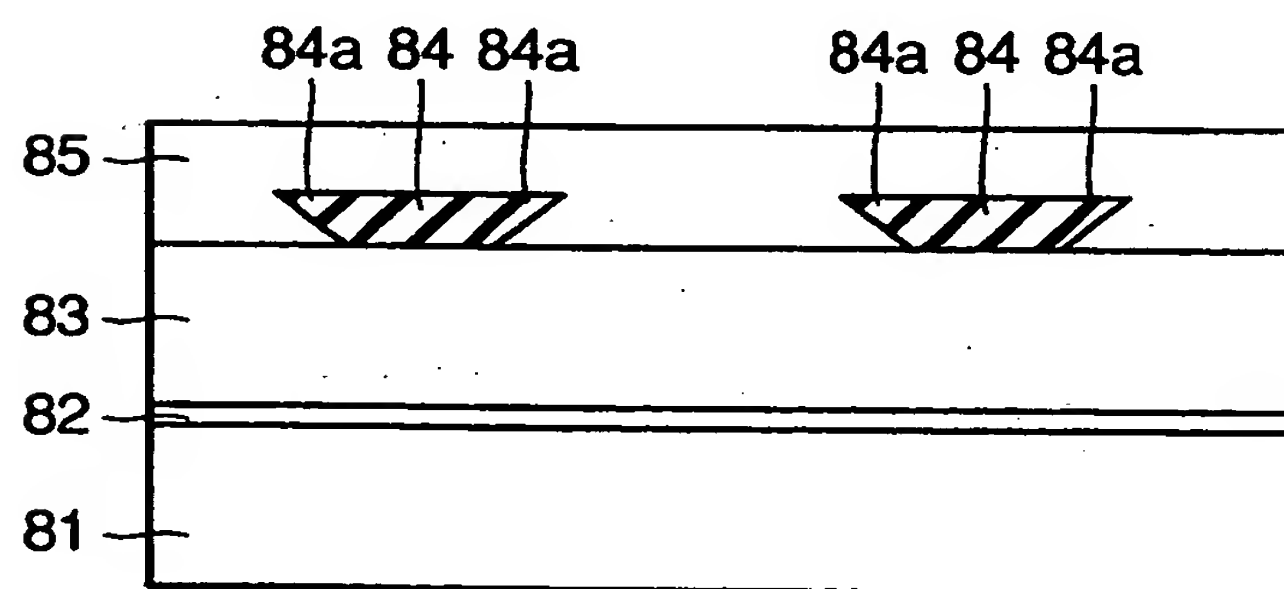
【図 1 6】



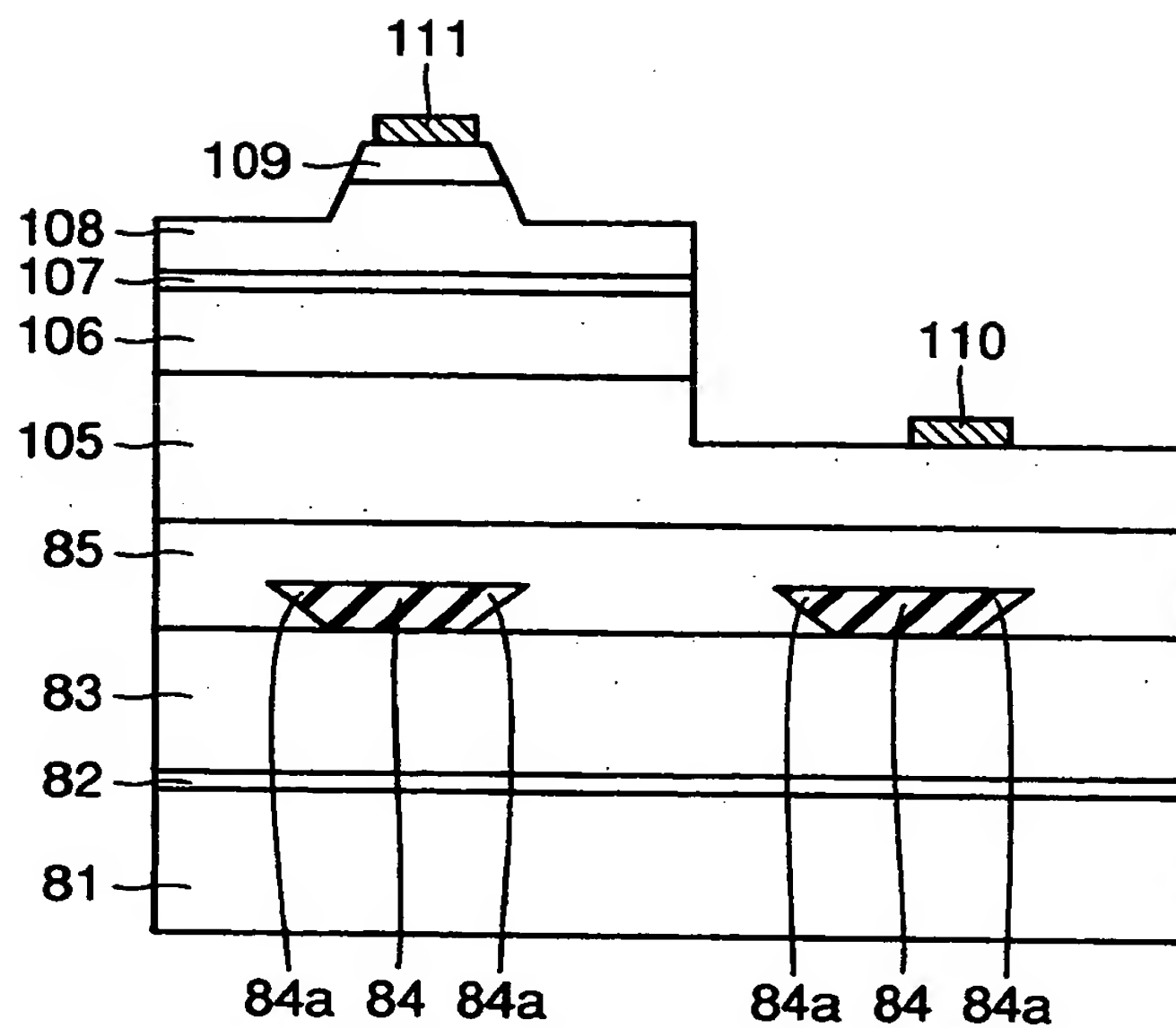
【図 1 7】



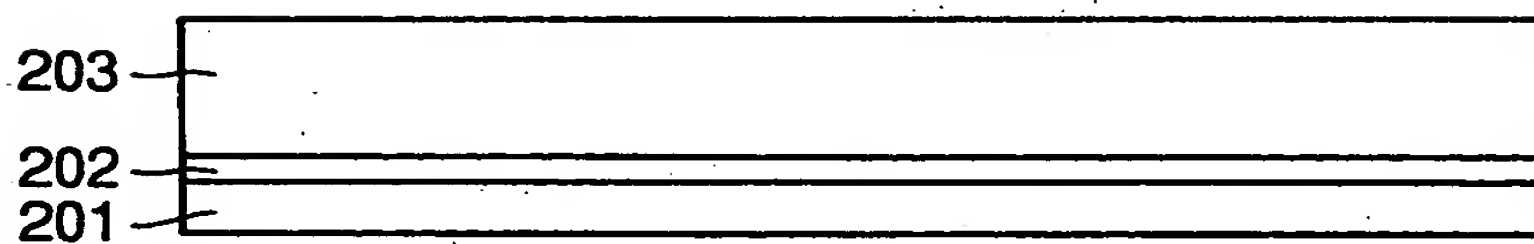
【図 1 8】



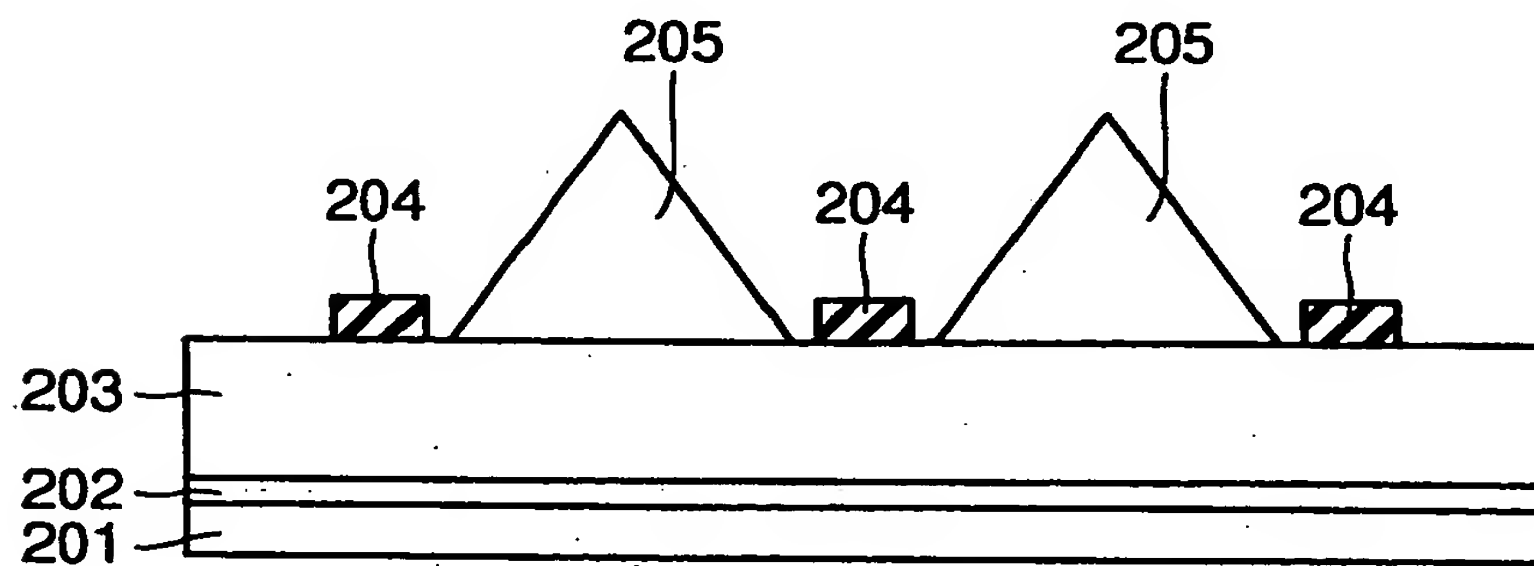
【図 1 9】



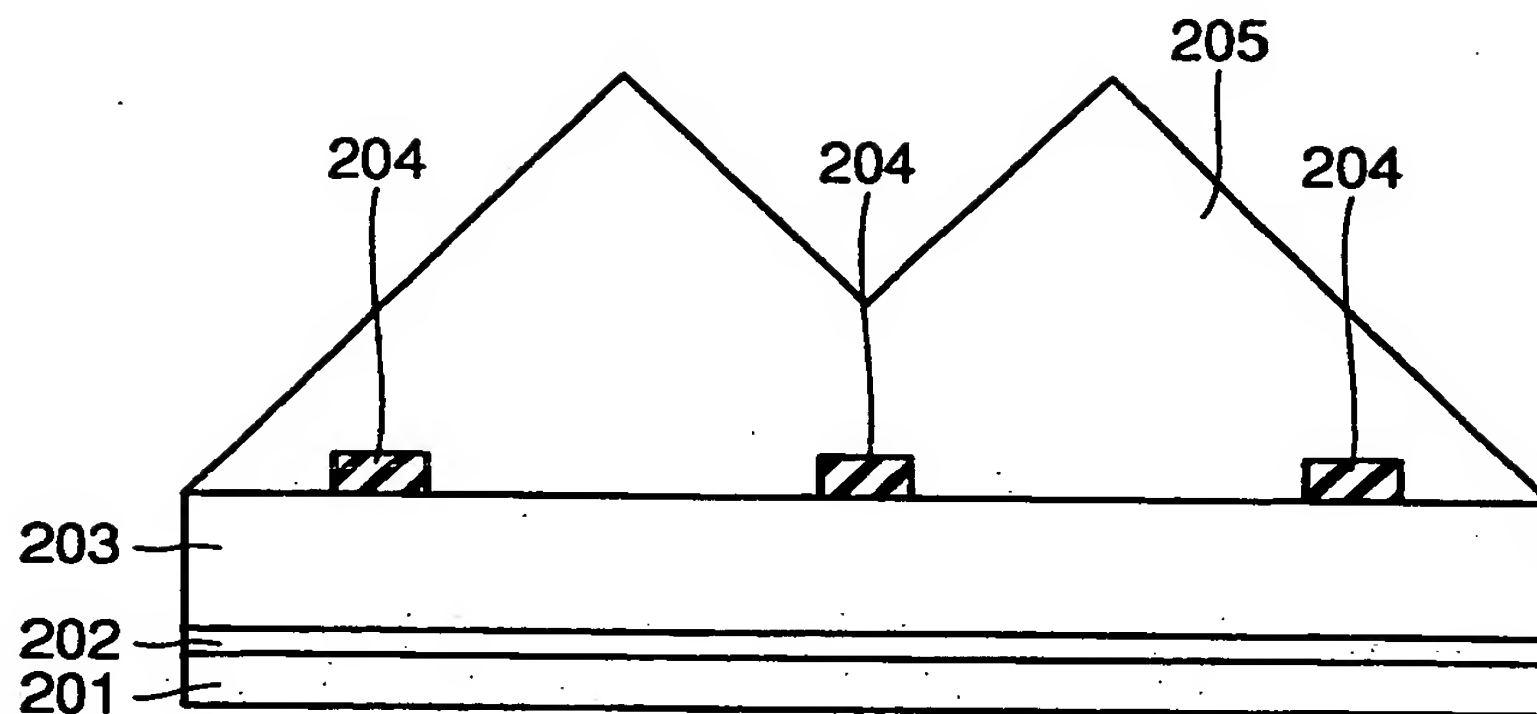
【図 2 0】



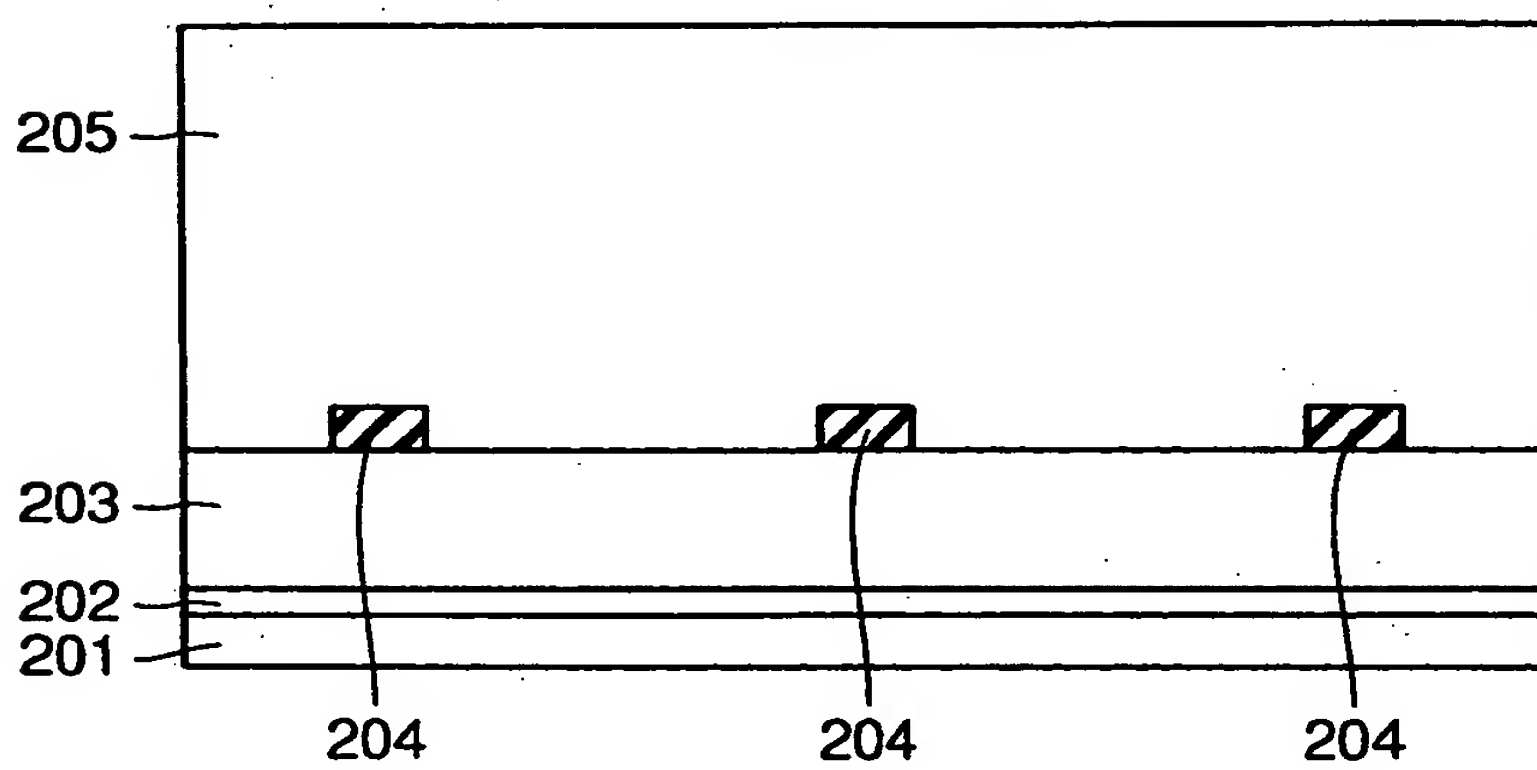
【図 2 1】



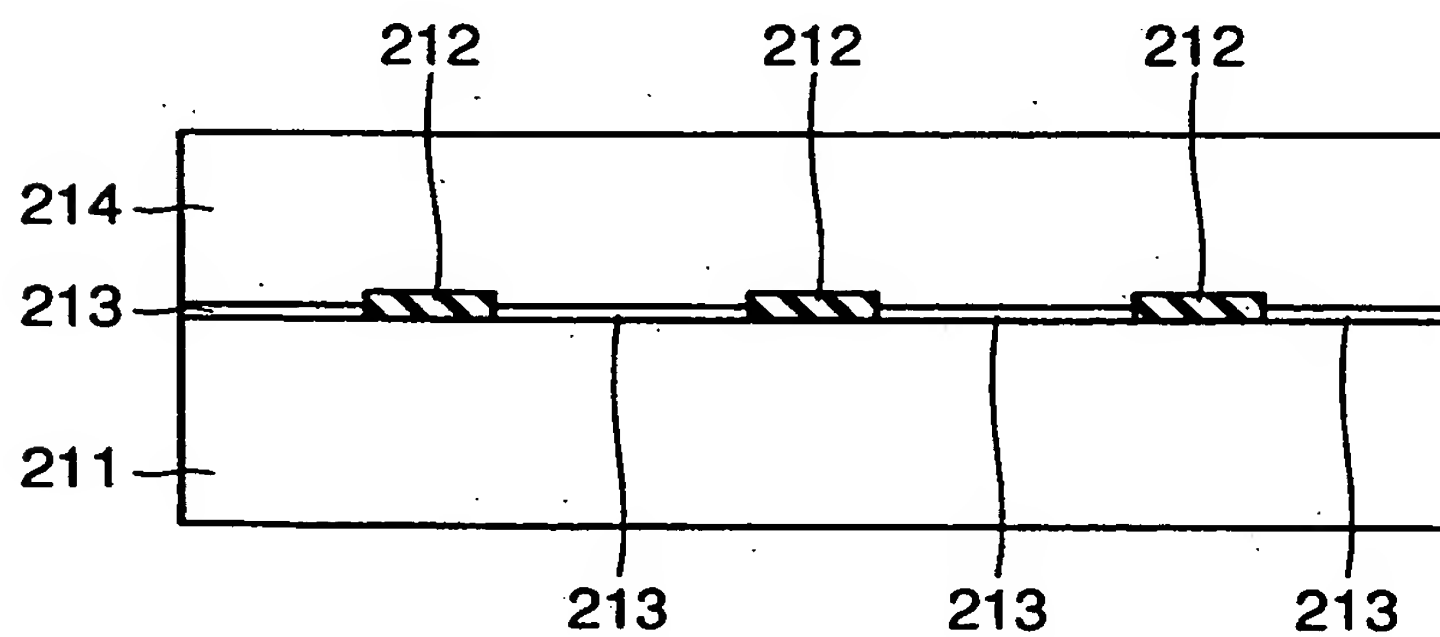
【図 2 2】



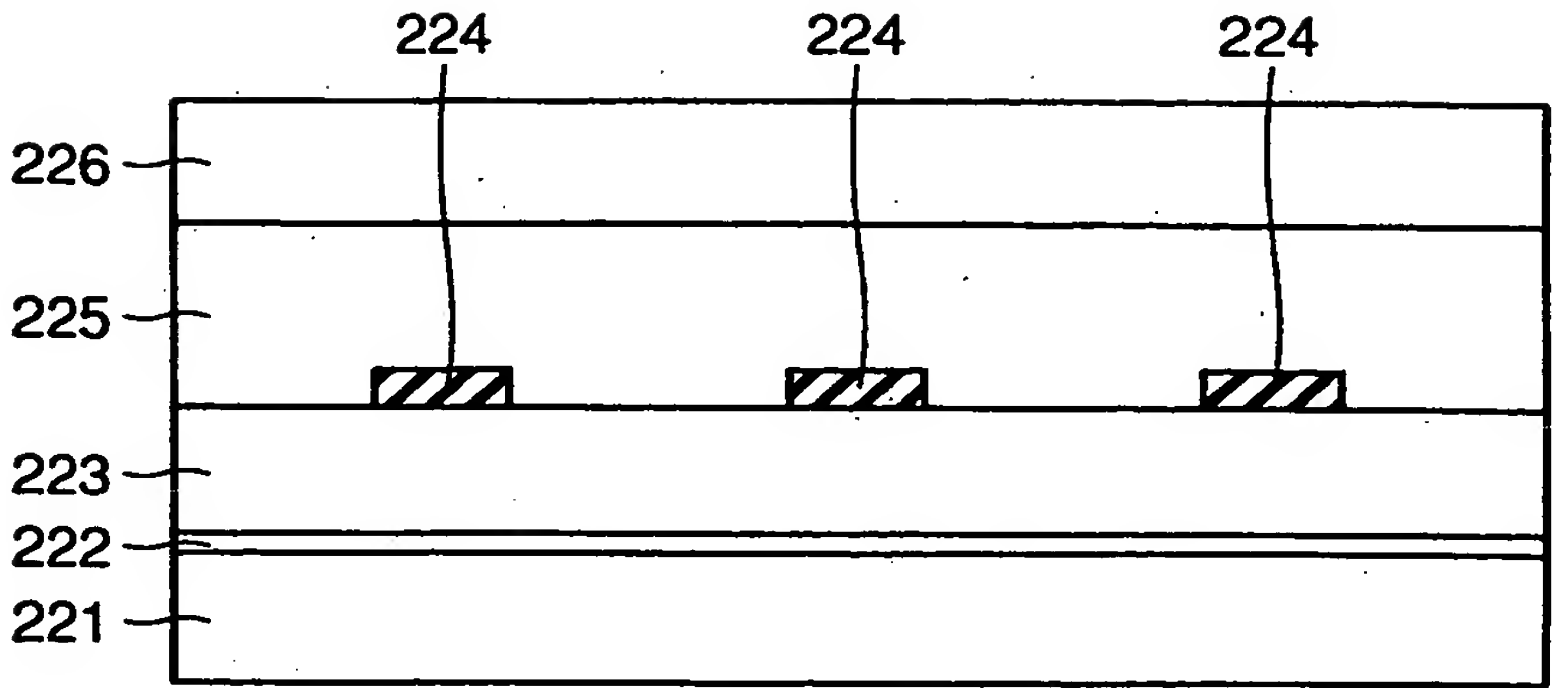
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 下地上に下地とは異なる材料からなる低転位の窒化物系半導体層を薄い膜厚で形成することが可能な窒化物系半導体素子を提供する。

【解決手段】 下地 1 の上面に接触するとともに、下地 1 の一部を露出するように、所定の間隔を隔てて形成された複数のマスク層 2 と、下地 1 の上面上およびマスク層 2 の上に形成された窒化物系半導体層 3 とを備えている。そして、隣接するマスク層 2 間の最短距離が、隣接するマスク層 2 間に位置する下地 1 の露出部の幅よりも小さい。

【選択図】 図 1

特 2 0 0 1 - 0 5 2 3 5 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 1 8 8 9]

1. 変更年月日 1 9 9 3 年 1 0 月 2 0 日

[変更理由] 住所変更

住 所 大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号

氏 名 三洋電機株式会社